UEBER DIE ABHÄNGIGKEIT DER WELLENLÄNGE DES LICHTES VON SEINER INTENSITÄT.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT ERLANGEN

EINGEREICHT

VON

HERMANN EBERT

AUS LEIPZIG.

MIT EINER TAFEL.

LEIPZIG,

DRUCK VON METZGER & WITTIG.

1887.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546422_0183

Einleitung.

Eine der wichtigsten Fragen in der Optik, sowohl in theoretischer wie in praktischer Hinsicht, ist diejenige, ob die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und damit die Wellenlänge des Lichtes von seiner Intensität abhängt oder nicht. Der Nachweis einer Abhängigkeit beider Grössen voneinander würde auf gewisse, bei der Fortpflanzung der Lichtbewegung im Aether auftretende Reibungskräfte hindeuten, wodurch eine wesentliche, unserer Lichttheorie zu Grunde liegende Hypothese erschüttert werden würde; eine praktische Bedeutung hat die Frage für die Astrophysik, wo wir die Constanz der Wellenlänge bei den verschiedensten Intensitäten voraussetzen, wenn wir beobachtete Wellenlängenänderungen nach dem Doppler'schen Princip auf eine relative Bewegung der Lichtquellen zurückführen, sowie bei den Bahnberechnungen von Doppelsternen. Bei diesen setzen wir voraus, dass die beobachteten relativen Orte beider oft sehr verschieden hellen Componenten auch in Wirklichkeit einem und demselben Zeitmomente entsprechen, abgesehen von den durch die verschiedenen Stellungen in der Bahn bedingten geringen Zeitunterschieden.

Untersuchungen in dieser Richtung wurden von J. J. Müller[1]) und von F. Lippich[2]) angestellt. Nach ersterem

1) J. J. Müller, Pogg. Ann. **145.** p. 86. 1871.
2) F. Lippich, Wien Ber. **72.** p. 355. 1875.

nimmt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes mit der Helligkeit zu; Lippich fand dieses Resultat nicht bestätigt; wir kommen auf die Einzelheiten dieser Arbeiten in der Discussion am Schlusse der Abhandlung zurück.

Die optischen Erscheinungen scheinen im allgemeinen die von der Theorie als streng erfüllt vorausgesetzte Unabhängigkeit der Amplitude und Wellenlänge selbst in weiten Grenzen zu verbürgen: Der grosse Intensitätsunterschied zwischen Natriumflamme und Sonne ist nicht im Stande, die Gleichheit der Wellenlänge der Linie Na_α und D, d. h. die Coincidenz beider Linien in den prismatischen Spectren aufzuheben. Indessen ist die Genauigkeit der Wellenlängenbestimmung bei directer prismatischer Zerlegung eine verhältnissmässig beschränkte. Nimmt man an, dass für Strahlen mittlerer Brechbarkeit der Brechungsexponent noch bis auf eine Einheit der sechsten Decimale genau bestimmt wäre, so würde — die Cauchy'sche Dispersionsformel zu Grunde gelegt — für ein Flintglasprisma von 60° brechendem Winkel die Wellenlänge nur bis auf $^1/_{2000}$ ihres Betrages genau bestimmt sein, d. h. die Fortflanzungsgeschwindigkeit nur bis auf $\pm$ 150 km. Wenn eine Aenderung in dem genannten Sinne wirklich stattfindet, so ist ihr absoluter Betrag jedenfalls sehr klein. Zu ihrem Nachweis gewähren auch die directen Methoden, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu bestimmen, wie sie von Fizeau, Foucault, Cornu, Michelson und anderen angewendet worden sind, nicht den erforderlichen Grad von Genauigkeit. Die Methoden der Wellenlängenbestimmungen können hier nicht in Frage kommen, obgleich die ausserordentliche Steigerung der Dispersion, welche namentlich durch die vollkommenen Spiegelgitter der neuesten Zeit ermöglicht wird, ihnen einen hohen Grad von Genauigkeit verleiht. Denn bei wachsenden Dispersionen hat man mehr und mehr mit der Schwierigkeit der verminderten Helligkeit zu kämpfen, sodass eine weitere Abschwächung des Lichtes, wie sie nothwendig ist, wenn man den Einfluss der Helligkeitsänderung auf die Wellenlänge untersuchen will, nur in sehr engen Grenzen bleiben dürfte. Was die Reversionsspectralapparate betrifft,

so sind die Fehlerquellen bekannt, welche diesem Instrumente anhaften; sie können scheinbare Verschiebungen der Linien zeigen, ohne dass diese ihre mittlere Brechbarkeit geändert haben, Verschiebungen, welche auf Parallaxenwirkungen zurückzuführen sind.[1]) Auch das Reversionsprincip empfahl sich daher nicht für den vorliegenden Zweck. Dagegen bieten uns die Interferenzphänomene die Hülfsmittel, die Aenderung der Wellenlänge mit ungleich grösserer Schärfe festzustellen. Bringt man beispielsweise die beiden Componenten eines cohärenten Lichtstrahles mit 20000 Undulationen Gangunterschied zur Interferenz, und kann man eine Aenderung dieses Gangunterschiedes um ein Zehntel Undulation noch erkennen, so ist man im Stande, Aenderungen der Wellenlänge von 1/200 000 ihres Betrags, oder Aenderungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit um $\pm 1{,}5$ km nachzuweisen. Derartige hohe Gangunterschiede kann man bei hinreichend homogenen Lichtquellen ohne Schwierigkeit an der Luftplatte eines Newton'schen Farbenglases oder an schwach keilförmigen Glasplatten erzeugen. Die Newton'schen Gläser haben den Vortheil, dass man an ihnen den Gangunterschied stetig und in weiten Grenzen verändern kann, doch wurden für den vorliegenden Zweck ausschliesslich Glasplatten wegen ihrer grösseren Stabilität verwendet.

Ist Δ die Dicke der Platte an irgend einer Stelle, λ' die auf Glas reducirte Wellenlänge des auffallenden Lichtes (gleich λ'/n), so ist bei senkrechter Incidenz für diese Stelle der Platte die Intensität proportional mit $r^2 \sin^2(\Delta/\lambda')\,2\pi$, wo r der Reflexionscoëfficient der Fresnel'schen Gleichungen ist (für Luft gegen Glas etwa $^1/_5$) [Glieder mit r^4 sind vernachlässigt worden]. Für jedes $\Delta = 2m\lambda'/4$ (m eine ganze Zahl) wird die Helligkeit ein Minimum, dunkle Streifen (Fizeau'sche Interferenzstreifen) verbinden also die Stellen gleicher Dicke. Jeder Streifen wird durch ein besonderes m, den Gangunterschied, charakterisirt, der Abstand zweier aufeinander folgender Streifen ist gleich $\lambda'/4 \operatorname{ctg} \alpha$ mm, wenn α den Keilwinkel der Platte bezeichnet, und die Wellenlänge

1) Cornu, Ann. de chim. et de phys. (6) 7. p. 26. 1886.

in Millimetern gegeben ist. Ist dieser Winkel sehr klein, so sind die Streifen genügend weit voneinander entfernt, um noch Bruchtheile eines Streifenabstandes schätzen zu lassen. Aendert sich λ' um $d\lambda'$, so wandert das ganze Streifensystem in dem einen oder anderen Sinne über die Platte hin, und zwar um die Strecke $d\lambda'/4 \operatorname{ctg} \alpha$. Für eine bestimmte Stelle der Platte mit der Dicke Δ hat sich dabei der Gangunterschied um dm geändert; da $m = 2\Delta/\lambda'$, so ist $dm = -2\Delta/\lambda'^2 . d\lambda'$, oder es ist $dm/m = -d\lambda'/\lambda'$.

In der folgenden, auf dieses Princip der Fizeau'schen Interferenzcurven gleicher Dicke basirten Untersuchung wurden Platten von 1,25 bis 7,49 mm Dicke benutzt; die zur Verfügung stehenden Gangunterschiede lagen demnach zwische 6300 und 37500 Undulationen für Strahlengattungen mittlerer Wellenlänge ($\lambda = 0{,}0006$ mm, $n = 1{,}5$). Die Keilwinkel α lagen zwischen 7 und 31 Bogensecunden, der Abstand zweier aufeinander folgenden dunklen Streifen lag daher zwischen 5,0 und 1,2 mm für das Grün. Auf Grund vielfacher Vorversuche habe ich den Abstand der Streifen nicht grösser gewählt, obgleich es scheinen könnte, als ob die Brauchbarkeit einer Platte für die vorliegenden Zwecke in demselben Maasse wie der Streifenabstand zunehmen müsste. Aber die dunklen Streifen sind um so verwaschener, je breiter das ganze Interferenzbild auseinander gezogen ist, die Helligkeit kann also weniger vermindert werden, als wenn die Streifen eng bei einander liegen und dementsprechend schärfer sind.

Eine Hauptschwierigkeit bestand darin, die Lage der Streifen scharf zu fixiren und eventuelle Verschiebungen derselben mit Sicherheit festzustellen. Schon nach den ersten Vorversuchen hatte ich mich davon überzeugt, dass die Anwendung eines Fadenkreuzes nicht thunlich war. Denn die Vergleichung eines an den Rändern sich allmählich abschattirenden Interfenzstreifens mit einem scharfbegrenzten Faden macht die Bezeichnung an sich schwer, und was die Hauptsache ist, das Auge bezieht beide in verschiedener Weise aufeinander, jenachdem das Gesichtsfeld hell oder dunkel ist. Dazu kommt die weitere Schwierigkeit, dass bei Herabmin-

derung des Gesammtlichtes die dunklen Streifen ihre scheinbare Breite verändern; sie werden breiter, weil ihre Randpartien früher unter die Reizschwelle sinken, als die weiter nach den Mitten der hellen Streifen gelegenen Theile; doch lassen sich Helligkeitsabstufungen in ihnen nicht mehr erkennen, während bei voller Beleuchtung deutlich ausgesprochene Mittelpartien von maximaler Dunkelheit die Streifenlage mit Sicherheit beziehen lassen. Ausserdem hebt sich der dunkle Faden von dem verdunkelten Gesichtsfelde nur sehr schwach ab, was leicht zu Täuschungen Veranlassung gibt. Feine, mit Balmain'scher Leuchtfarbe direct auf die Platten gezogene Linien hoben die letztgenannte Schwierigkeit nur unvollkommen.

Ich habe mich daher bei den folgenden Untersuchungen dem Heliometerprincipe zugewendet. Die Platten wurden nach einem Durchmesser senkrecht zur Steifenrichtung durchgeschnitten und die beiden Hälften mit umgekehrter Keilverjüngung wieder aneinander gelegt. So wurde Streifen mit Streifen verglichen, Abweichungen infolge der subjectiven Auffassung waren ausgeschlossen, denn alle Veränderungen trafen die Streifen beider Hälften gleichmässig, und dazu gesellte sich noch der weitere Vortheil, dass jede Verschiebungsgrösse sich verdoppeln musste, weil die Streifen auf den beiden Plattenhälften in entgegengesetztem Sinne wanderten.

Waren die beiden Plattenhälften so nebeneinander gelegt, dass ein Streifen genau die Verlängerung des anderen bildete, so war mit grosser Sicherheit festzustellen, ob diese Coincidenz bestehen blieb, wenn die Helligkeit vermindert wurde. Die Schärfe dieses Messverfahrens konnte dadurch noch erheblich erhöht werden, dass man die ganze Platte bis auf einen Streifen und seine nächste Umgebung durch Blenden mit scharfen, der Streifenrichtung parallel gestellten Kanten abblendete. Die Aufmerksamkeit wurde dadurch ganz auf den einen Streifen concentrirt, das Auge völlig vor störendem Lichte geschützt, und ausserdem boten die Blendenkanten, die nur durch zwei sehr schmale helle Streifen zu beiden Seiten des dunklen von diesem getrennt waren,

einen äusserst scharfen Anhalt; die geringste Verschiebung des dunklen Streifens musste sich sofort durch Breitenänderungen der hellen verrathen. Dazu konnte diese Methode selbst bei den geringsten Helligkeiten noch benutzt werden, bei denen überhaupt noch dunkle Streifen erkennbar waren.

Selbst bei den Platten mit grösstem Keilwinkel, also geringstem Streifenabstande, hätte eine Verschiebung erkannt werden müssen, wenn dieselbe nur $^1/_{10}$ des Streifenabstandes betragen hätte, es war also eine Wellenlängenänderung erkennbar, wenn auch nicht messbar, welche gleich $^1/_{20}$ Wellenlänge angenommen werden darf. Bei dem überaus homogenen Lichte, welches die grüne Quecksilberlinie ($Hg_\alpha = 546{,}0$) aussendet, war es noch möglich, einen Gangunterschied von beinahe 42000 Undulationen ohne Schwierigkeit zu benutzen; die vorliegende Methode gestattet also, noch Wellenlängenunterschiede zu erkennen, welche 1/840 000 der Wellenlänge betragen, d. h. Aenderungen in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von nahe $^1/_3$ km. Drückt man die Wellenlänge in Milliontelmillimetern aus, so würde die genannte Wellenlängenänderung noch nicht 7 Einheiten der vierten Decimale betragen bei $Hg_\alpha = 546{,}0$, d. h. die Methode würde einen Längenunterschied erkennen lassen, der kleiner als 7 Zehntausendmilliontel eines Millimeters ist. Angström schätzte die Genauigkeit, mit der er die Wellenlänge seiner Hauptlinien bestimmt hatte, auf 1/50000 ihres Betrages, also auf eine Einheit der zweiten Decimale.

Es ist gegen die Anwendung der Fizeau'schen Interferenzerscheinung der Curven gleicher Dicke bei grossen Gangunterschieden das Bedenken erhoben worden, dass man bei dieser Erscheinung den benutzten Lichtkegel erheblich beschränken muss, wenn die Curven scharf erscheinen sollen, und zwar in immer stärkerem Maasse, je höher der benutzte Gangunterschied ist.[1]) Dies rührt daher, dass die Pupillenöffnung nicht unendlich klein ist, sodass sich auf einem Punkte der Netzhaut Strahlen vereinigen können, welche die Platte in verschiedener Richtung durchlaufen haben, also

1) O. Lummer, Wied. Ann **23.** p. 78. 1884.

mit ungleichem Gangunterschiede ankommen.[1]) Von diesem Uebelstande sind die Mascart-Lummer'schen Interferenzcurven gleicher Neigung frei. Dieselben kommen durch die Interferenz von Strahlen zu Stande, welche eine überall genau gleich dicke Platte in verschiedenen Neigungen durchsetzt und dadurch verschiedene Verzögerungen erlitten haben. Sie sind immer deutlich, wenn nur die Platte hinreichend planparallel ist. Indessen muss hier der Querschnitt der interferirenden Lichtbündel ebenfalls sehr stark, und zwar auch bei niederen Gangunterschieden beschränkt werden, weil man selten so vollkommene Platten zur Verfügung hat, wie es diese Erscheinung erfordert. (Bei einer Platte von 10 Bogensecunden Keilwinkel muss z. B. die Pupillenöffnung durch Abblenden auf 1,2 mm reducirt werden.)[2]) Wenn dieser Bedingung aber auch die hohe Vollkommenheit, mit der man genaue Planparallelgläser anfertigen kann, in weiten Grenzen hätte genügt werden können, so wurde durch die starke Abblendung bei den vorliegenden Versuchen keine neue Schwierigkeit eingeführt, weil so wie so sehr enge Blenden eingeführt werden mussten, um dem Auge eine feste Stellung gegenüber der Interferenzplatte zu geben. Ausserdem wurde der störende Einfluss der verschiedenen Neigung der Strahlen dadurch so weit wie möglich beschränkt, dass nur sehr nahe paralleles Licht auf die Platten gelangte.

Die Veränderung der Helligkeit wurde dadurch herbeigeführt, dass das Licht an einer Stelle seiner Bahn durch eingeschaltete Absorptionsgläser aus Rauchglas geschwächt wurde. Die dadurch erzielte Verminderung der Helligkeit durchlief alle Werthe von einer kaum wahrnehmbaren Schwächung bis zum völligen Erlöschen des Interferenzbildes in ziemlich stetiger Weise, was durch Anwendung einer grösseren Zahl von Gläsern — 12 Stück standen mir in geeigneter Auswahl zur Verfügung — und deren Combinationen ermöglicht wurde. Bei den intensivsten Lichtquellen (Quecksilber-

1) Vgl. E. Verdet, Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes, deutsch von K. Exner, **1.** p. 72 ff. 1881; S. Czapski, Zeitschr. f. Instrumentenkunde. **5.** p. 153. 1885.

2) S. Czapski, l. c. p. 152.

Natrium- und Thalliumlicht) konnte die ursprüngliche Helligkeit auf $^1/_{34}$, $^1/_{50}$, in einem Falle (bei dem Quecksilber) sogar auf mehr als $^1/_{250}$ der ursprünglichen Helligkeit herabgesetzt werden. Dieser weite Spielraum, in dem sich die Helligkeitsvariationen bewegen konnten, war wesentlich durch die besondere Einrichtung des Beleuchtungsapparates bedingt, durch die so wenig Licht wie möglich verloren wurde.

Sollten die Resultate völlig einwurfsfrei sein und lediglich der Einfluss der Helligkeit auf die Streifenlage untersucht werden, so waren alle anderen die Erscheinung bedingenden Momente möglichst constant zu erhalten. Vor allen Dingen musste die Art des Leuchtens eine völlig gleichförmige sein, und um dies zu erreichen, wurden die im Folgenden beschriebenen umfangreicheren Anordnungen getroffen.

Ausserdem wurde durch eine besondere Beobachtungsreihe diese Constanz und der Einfluss der unvermeidlichen Schwankungen in den Beobachtungsbedingungen experimentell geprüft.

Im ganzen wurden folgende acht homogenen Lichtgattungen auf einen Einfluss der Intensität auf ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit hin untersucht:

Nr.	Farbe	Linie	Wellenlänge
1.	Roth	Li_α	670,5 $\mu\mu$
2.	Roth	H_α	656,2
3.	Gelb	Na_α	589,2
4.	Grün	Hg_α	546,0
5.	Grün	Tl_α	534,7
6.	Grünblau	H_β	486,1
7.	Blau	Sr_δ	460,4
8.	Blau	Hg_β	437,7

Die Höhe des Gangunterschiedes, bis zu der man bei jeder einzelnen Linie kommen konnte, sowie die Stärke der Abschwächung, welche das durch die verschiedenen Lichtarten erzeugte Interferenzbild vertrug, hingen natürlich wesentlich von den individuellen Verhältnissen der einzelnen Strahlengattungen ab und waren sehr verschieden. Am vorzüglichsten eignete sich das grüne Thallium- und Queck-

silberlicht wegen seiner grossen Helligkeit, Homogenität und der Empfindlichkeit des Auges für diese Strahlen mittlerer Brechbarkeit.

Apparate.

A. Die Lichtquellen.

1. Farbige Flammen. Ein Haupterforderniss bei den folgenden Untersuchungen war, die Bedingungen, unter denen die Lichtentwickelung standfand, möglichst constant zu erhalten. Dies ist bei der gewöhnlichen Methode der Flammenfärbung mittelst einer an einen Platindraht angeschmolzenen Salzperle nicht in dem erforderlichen Grade der Fall, weil, namentlich bei leichter flüchtigen Salzen, nie eine constante Dampfmenge geliefert wird. Hier, wie in allen Fällen, wo es sich um quantitative Bestimmungen handelt, war daher ein anderer Weg einzuschlagen.

Sehr zweckmässig erwies sich das von Gouy[1]) angewandte Princip, die Metallsalze zu lösen, die Lösungen zu zerstäuben und so der zur Verbrennung des Leuchtgases im Bunsenbrenner verwendeten Luft beizumengen. Die Flamme nimmt dadurch in ihrem oberen Theile eine völlig gleichmässige Färbung an, ohne sich zu deformiren, wie dies bei directem Einblasen der Salzlösung unvermeidlich ist; ausserdem gelangt in gleichen Zeiten bei ein und derselben Lösung immer dieselbe Menge Substanz in die Flamme.

Der von mir benutzte Apparat ist in Fig. 1 in seiner Gesammtanordnung dargestellt, die Fig. 1_a und 1_b geben eine vergrösserte schematische Darstellung des von mir verwendeten Zerstäubers und Brenners.

Durch zwei Knaben wurde vermittelst der beiden Gummigebläse A_1 und A_2 mit vorgelegten Gummireservoirs in Netz, B_1 und B_2, Luft in den ca. 50 l haltenden Glasballon C hineingetrieben.[2]) Durch Vorlegen dieses Ballons wurde die

1) Gouy, Ann. de chim. et de phys. (5) **18.** p. 28. 1879; Beibl. **2.** p. 341. 1878; **4.** p. 376. 1880.

2) Die gewöhnlichen Blasvorrichtungen, z. B. die Blasebälge der Laboratoriumglasblasetische, geben wohl eine hinreichend grosse Luftmenge,

Wirkung der einzelnen Luftcompressionen völlig ausgeglichen. Nach Absperren des Hahnes *D* wurde zunächst so viel Luft in das Reservoir *C* gepresst, dass der Druck darin die gewünschte Höhe erreichte. Die Druckhöhe wurde an dem durch das seitliche Röhrchen *E* angeschlossene Wassermanometer *F* abgelesen. Um die Thätigkeit der Knaben bis zu einem gewissen Grade überwachen zu können, war in dem oberen, etwas erweiterten Theile des Manometersteigrohres *G* ein Korkschwimmer *H* in der Verticalen leicht beweglich angebracht, der, wenn der Druck eine gewisse Höhe überstieg, von der Manometerflüssigkeit selbst erfasst und emporgehoben wurde. Dadurch kam der Federcontact *I* zum Schluss, wodurch das electrische Läutewerk *K* in Thätigkeit gesetzt wurde. Um die Drucke auch im Dunkeln ablesen zu können und doch das fremde Licht möglichst zu beschränken, wurde hinter dem Manometerrohr ein mit Balmain'scher Leuchtfarbe dick überstrichener, blau phosphorescirender Schirm *L* aufgestellt, von dem sich das dunkel gefärbte Wasser noch lange nach der Belichtung deutlich abhob.

Hatte der Druck im Ballon *C* die nöthige Höhe erreicht, so wurde der Hahn *D* geöffnet; durch ihn konnte zugleich der austretende Luftstrom regulirt werden.

Durch den Schlauch *M* gelangte die Luft in den Zerstäuber *N*. Derselbe war mittelst Kautschukstopfen in einem seitlichen Tubulus des birnenförmigen, etwa 1 l haltenden Gefässes *O* befestigt, in dessen unterem Theile sich die Salzlösung befand. Dieselbe wurde durch den Schlauch *P* an- und in den Zerstäuber hineingesaugt und an der Spitze *Q*

---

lassen aber den Druck nicht bis zu der hier erforderlichen Höhe (10 bis 12 cm Quecksilber) steigern. Automatische Wassertrommelgebläse oder Strahlpumpen konnten nicht angewendet werden, weil der hydrodynamische Druck und die Wassermenge der zur Verfügung stehenden Wasserleitung zu gering waren. Nach vielen Versuchen mit den verschiedensten Vorrichtungen bin ich bei den in der medicinischen Praxis zur Erzeugung von „Sprays" vielfach verwendeten Gummigebläsen stehen geblieben. Mit zweien derselben von grösster Sorte kann ohne Schwierigkeit eine genügende Luftmenge geliefert werden; sie halten einen Wasserdruck von 150 cm noch bequem aus, und bei einiger Uebung lässt sich mit ihnen der Druck sehr constant erhalten.

äusserst fein zerstäubt. Ein Theil der fein vertheilten Flüssigkeitströpfchen folgt der durch einen oberen, röhrenförmigen Ansatz nach der Kugel *R* hin entweichenden Luft, der grössere Theil bleibt an den Wänden haften, fliesst herab und sammelt sich im unteren Theile der Glasbirne wieder. Bei der geringen Menge der fortgeführten Substanz[1]) functionirt dieser Apparat, wenn er einmal gefüllt ist, sehr lange. Sollte eine grössere Reihe von Lösungen rasch hintereinander untersucht werden, so wurde die Schlauchverbindung *P* zugeklemmt und die Lösungen direct aus Mariotte'schen Flaschen unter einem immer gleichbleibenden Ueberdrucke von wenigen Centimetern dem Zerstäuber zugeführt. Nach jeder Lösung wurde destillirtes Wasser eine Zeit lang zerstäubt, ferner das Gefäss *O* damit ausgespült, was zur Reinigung des Apparates genügte. σ ist ein Quetschhahn an dem zur Entleerung der Zerstäuberbirne dienenden Rohr.

Der Zerstäuber *N* selbst besteht (vgl. Fig. 1_a) aus einem inneren Röhrchen *C*, welches die Salzlösung, und einem weiteren äusseren *A*, welches die Luft zuführt. Dieses 12 mm weite, etwa 8 cm lange äussere Glasrohr *A* mit dem seitlichen, etwas aufgebauchten Ansatze *B* ist an einem Ende in eine feine Spitze ausgezogen, welche vorn glatt und allseitig gleichmässig abgeschliffen ist. Die etwa 0,7 mm im Durchmesser haltende feine Oeffnung muss genau kreisrund sein. Das engere, nur etwa 2 mm im Lichten haltende Röhrchen *C* ist ebenfalls in eine Spitze ausgezogen, welche sehr fein (0,2 bis 0,3 mm Durchmesser), ebenfalls sehr regelmässig abgeschnitten und namentlich in der Wandstärke sehr dünn sein muss, damit sie möglichst weit in die Spitze des umhüllenden Rohres vorgeschoben werden kann, ohne den zwischenliegenden Raum, durch den die Luft heraustritt, zu sehr zu beschränken.

Um die innere Spitze in der äusseren genau centriren und die Stellung beider gegeneinander jederzeit wieder reguliren zu können, ist die Verbindung beider Röhren nicht starr hergestellt. Das innere Röhrchen ist durch den genau

1) Von 500 g Aq. dest., welche dem Zerstäuber zugeführt wurden, fehlten nach einmaligem Durchlaufen 1,2 g. Der Process dauerte 25 Minuten, sodass 100 g Lösung etwa in 5 Minuten zerstäubt werden.

axial durchbohrten Gummistopfen *D* geschoben und wird durch diesen in der weiteren Röhre gehalten. Dieselbe ist an diesem Ende glatt abgeschliffen und trägt hier eine Messingfassung mit drei angelötheten Längsfortsätzen, welche drei zur Rohraxe senkrecht stehende Stellschrauben halten. Diese greifen über den Stöpsel über; durch gleichmässiges, sanftes Anziehen derselben kann das Röhrchen *C* in jeder Stellung festgehalten werden. Die Einschnürung an dem 2 bis 3 cm über den Stopfen hervorstehenden Ende von *C* dient zum Festbinden des Gummischlauches *P*; über *B* wird der Gummischlauch geschoben, durch den die Luft zugeführt wird. Die saugende Wirkung dieses Zerstäubers ist eine ziemlich grosse (nahezu gleich 20 cm Wasserdruck bei 150 cm Wasserdruck der zuströmenden Luft). Er kann leicht zerlegt und deshalb auch leicht und gründlich gereinigt werden; übrigens wurden bei den folgenden Versuchen die Zerstäuber immer bei dem Uebergange zu einem andere Salze ausgewechselt. Verstopfungen kamen trotz der Feinheit der Spitzen, wenn die verwendeten Lösungen vor dem Gebrauche filtrirt worden waren, nur äusserst selten vor.

Aus dem birnenförmigen Gefässe *O* gelangt die Luft, die nun reichlich mit dem Staube der Salzlösung beladen ist, in die kleinere, durch Gummistopfen aufgesetzte Kugel *R*, in welcher sich noch die grösseren Flüssigkeitstropfen niederschlagen; nur der feinste Staub gelangt mit der Luft durch den Schlauch *S* in den Brenner *T*.

Die Einrichtung dieses Brenners ist aus Fig. 1 b, wo er in vergrössertem Maassstabe dargestellt ist, leicht zu ersehen. In einem nicht zu dünnwandigen, 10 mm weiten Glasrohre *A* sind etwa in der Mitte drei Oeffnungen von 4 bis 5 mm Durchmesser O_1, O_2, O_3 (O_3 ist in der Figur nicht sichtbar) aufgeblasen. Von unten her ist durch ein Stück Kautschukschlauch *C* ein in eine 0,5 bis 0,7 mm weite Oeffnung auslaufendes und rechtwinkelig umgebogenes Glasrohr *B* eingesetzt; an dem äusseren Ende ist es etwas aufgetrieben, um dem hier überzuschiebenden Gasschlauch den nöthigen Halt zu gewähren. Der andere Schenkel des Rohres muss so weit eingeschoben sein, dass seine Spitze etwas unterhalb der Oeff-

nungen des weiteren Rohres A zu stehen kommt. Um dieses letztere ist ein weiterer Glasmantel D, durch zwei Korke K_1 und K_2 gehalten, so herum gelegt, dass die 3 Oeffnungen O in dem Raume DK_1K_2 zu liegen kommen. Durch das seitlich angesetzte Rohr E tritt die Luft mit dem Salzstaube ein; durch die 3 Oeffnungen O_1 dringend, mischt sie sich dem Leuchtgase in A bei; das Gemisch kommt am oberen Ende von A zur Verbrennung. Um hier das Glas vor allzu grosser Erhitzung zu schützen, wodurch die Flamme eine gelbe (Natrium-)Färbung erhalten würde, ist das obere Ende von A mit einem kleinen, etwa nur centimeterlangen Cylinder aus dünnem Platinblech versehen. Derselbe ist an einer Stelle gefalzt und nur auf das Glasrohr aufgeschoben. Um ein Rückschlagen der Flamme selbst bei sehr vermindertem Gaszuflusse zu verhindern, wird auf die Brennerhülse ein haubenartig gebogenes Stück Platindrahtnetz (Platingaze) von 0,8 mm Maschenweite und 0,13 mm Drahtstärke gestülpt, welches in Fig. 1 angedeutet ist.

Bei geeigneter Stellung des inneren Gaszuleitungsröhrchens B und des Luftzuleitungsrohres E im äusseren Mantel gegen die Oeffnungen in A (ersteres darf nicht zu tief stehen, letzteres den Luftstrom nicht gerade gegen eine der Oeffnungen schicken), erhält man eine ganz. gleichmässig brennende, vollständig reine Flamme. Mischt man der Luft nur Staub von destillirtem Wasser bei, so erkennt man in der Flamme nur das ihr eigenthümliche Swanspectrum, welches aber auch nur im unteren Theile der Flamme deutlich ist; im oberen ist es so schwach, dass man die ihm charakteristischen Banden kaum mehr sieht; die Flamme ist hier fast völlig farblos. Besonders wichtig ist, dass bei dieser Anordnung jede gelbliche Färbung der Flamme durch Natrium vermieden werden kann; freilich funktionirt der Brenner nur bei den hier angegebenen Verhältnissen seiner Theile zueinander, die durch vielfache Versuche festgestellt wurden, in befriedigender Weise. Solche einfache Brenner kann man sich leicht in grösserer Menge herstellen; im Folgenden hatte jedes Salz seinen eigenen Brenner. Dieselben können nach jedem Versuche leicht auseinander genommen

und, da alle Theile aus Glas gefertigt sind, gründlich gereinigt werden.

Auf den Brenner T (Fig. 1) ist der mit mehreren symmetrisch angeordneten Durchbohrungen versehene Kork U geschoben, welcher den Eisenblechmantel V trägt. Dieser hat 3 Oeffnungen: eine ovale W_1, nach vorn, d. h. gegen den Interferenzenapparat gerichtete, und zwei andere längere, schlitzartige an den Seiten W_2 und W_3 (letztere in der Figur nicht zu sehen). Damit die Luft nur durch den Kork U von unten her an die Flamme gelangen und nicht von der Seite her gegen die Flamme ziehen und diese dadurch deformiren konnte, war der ganze Cylinder mit einer fest anliegenden, dünnen (in der Figur angedeuteten) Glimmerplatte umwickelt. Die ovale Oeffnung blendete den für die Untersuchung geeignetsten oberen Theil aus der Flamme heraus und bedeckte den störenden, an sich intensiver gefärbten grünlichen Lichtkegel am Fusse der Flamme. Die seitlichen Schlitze dienten zur Controle der Flammenhöhe; dieselbe geschah mittelst eines an dem in Millimeter getheilten, verticalen Maassstabe X verschiebbaren Diopters Y. Als Maass der Flammenhöhe diente dabei die Höhe des inneren, ziemlich scharf begrenzten, grünbläulichen Kegels, welche mit grosser Constanz etwa 30 mm betrug. Die Messung geschah vor und nach jeder Beobachtung; dabei wurde nur destillirtes Wasser zerstäubt. Wenn Salzlösungen in der Birne O waren, so war selbst bei den schwächsten Concentrationen der Flammenmantel in der Regel so stark gefärbt, dass die Conturen des inneren Kegels nur mit Mühe wahrgenommen werden konnten.

Das Gas floss dem Brenner durch den Schlauch A' zu; der Druck in dem Wassermanometer B' betrug fast immer 22 mm. Um denselben auch bei verdunkeltem Zimmer ablesen zu können, war hinter dem Steigrohre der mit einer Theilung versehene phosphorescirende Schirm C' aufgestellt. Durch den weit durchbohrten Hahn O' konnte der Gaszufluss genügend scharf regulirt werden. Der Gasdruck war ein sehr constanter, wenn an der speciellen Verzweigung der Hauptleitung keine andere Flamme brannte. Da sich ferner

zeigte, dass selbst bei grösseren Schwankungen, als sie wirklich vorkommen konnten, das Interferenzphänomen keine wesentlichen Aenderungen erfuhr (vergl. die diesbezüglichen Versuche unter „Fehlerquellen"), so wurde auf die Anwendung eines besonderen Regulators zur Erhaltung einer constanten Zusammensetzung des zur Verbrennung gelangenden Gas-Luftgemisches verzichtet.

Von der Flamme wurde durch die Linse Z (Fig. 1) (19 cm Brennweite, 8 cm freie Oeffnung) ein Bild auf die Spaltplatte der Spaltvorrichtung E' entworfen. Der Oeffnungswinkel des den Spalt passirenden Lichtbündels betrug 11^0. Die Schneiden der Spaltvorrichtung waren durch die Schraube F' verstellbar; sie konnten ziemlich weit (bis 2,2 mm) geöffnet werden, da die zur Beleuchtung herausgegriffenen Linien bei den zur Verwendung kommenden Salzen weit genug voneinander entfernt waren.

2. Salzlösungen im Fulgurator. Die Thallium- und Strontiumsalze ertheilten, wenn sie zerstäubt und in den Brenner eingeführt wurden, selbst in stark concentrirten Lösungen den Flammen keine so intensive Färbung, dass sie mit Vortheil für den vorliegenden Zweck hätten verwendet werden können. Um jedoch auch die in brechbareren Theilen des Spectrums, als die rothe Lithium- und die gelbe Natriumlinie gelegenen hellen Linien dieser Metalle in den Kreis der Beobachtungen zu ziehen, wurden die Salzlösungen in einer zweiten Versuchsreihe unter dem Einflusse der electrischen Entladungen untersucht. Dies geschah in Fulguratoren von der gewöhnlichen Form[1]), bei denen die zum Leuchten kommende Dampfmenge eine sehr constante ist. Dieselben bestehen aus einem Probierrohre, in welches unten ein Stück Platindraht eingeschmolzen ist; in dasselbe wird etwas von der Salzlösung gegossen. Von oben her wird ein anderer Platindraht dem ersteren in kurzer Entfernung gegenübergestellt. Zwischen beiden lässt man die Funken

1) Vgl. N. Lockyer, Studien zur Spectralanalyse. Deutsche Ausgabe p. 56. Brockhaus 1879; oder H. Schellen, Spectralanalyse (3. Aufl.) **1.** p. 273. Braunschweig 1883.

überspringen. Damit die sich an den Glaswänden capillar emporziehende Lösung die Funkenbahn nicht verdeckt, wird über den unteren Piatindraht ein kleiner, capillar durchbohrter Glasconus aufgesetzt und nur so viel Salzlösung in den Fulgurator gefüllt, dass sie sich im Innern des Glaskegels gerade noch bis zur Spitze erheben kann. Die Spitze dieses Kegels muss äusserst fein, namentlich im Glas möglichst dünn sein, damit der Funken möglichst wenig Fläche findet und nicht hin und her springen kann; ein Flackern des Lichtbogens hat ein Zucken der Interferenzstreifen zur Folge, welches das Beobachten sehr schwer macht.

In den Fulguratoren wurden untersucht: Lithium, Natrium, Thallium und Strontium; jedes Salz hatte seinen eigenen Fulgurator. Der Glanz der Linien war ein ausserordentlich grosser; dieselben neigten aber stark zum Unhomogenwerden, weshalb nur äusserst verdünnte Lösungen (bei Chlornatrium z. B. 58 g Salz auf 2 300 000 g Wasser)[1]) verwendet werden konnten. Von dem an den Electroden verdampfenden Wasser schlug sich ein nicht unbeträchtlicher Theil an den kühleren Glaswänden des Probirrohres nieder und schwächte dadurch das Licht des farbigen Funkens in erheblichem Maasse. Um dies zu verhindern, wurde der ganze Fulgurator von Zeit zu Zeit mit einem Bunsenbrenner etwas angewärmt. Es konnte ohne Spaltvorrichtung beobachtet werden; die Fulguratoren wurden direct vor dem Beleuchtungsapparat aufgestellt. Das benutzte Inductorium war ein mittlerer Ruhmkorff'scher Apparat von gewöhnlicher Construction mit Condensator; der primäre Strom wurde von einer durch einen Gasmotor in Bewegung gesetzten Gramme'schen Maschine geliefert. Ihre Tourenzahl betrug etwa 2000, und das eingeschaltete Ampèrometer schwankte um einen Ausschlag von 2 bis 3 Ampère. Eine besondere Art der Stromunterbrechung erwies sich bei diesen Versuchen

1) Es sei gleich hier bemerkt, dass alle im Folgenden gegebenen Concentrationen der Salzlösungen sich auf moleculare Mengen des in ihnen enthaltenen Metalles beziehen. Die obige Lösung ist demnach von der Concentration 1 : 100 000 (23 g Na auf 2 300 000 g Wasser).

nicht als unbedingt nöthig; sie wurde durch die Hammervorrichtung des Inductoriums besorgt.

Versuche, die Salze auch in fester Form durch Ueberspringen von Funken zur Verdampfung zu bringen, hatten nicht das gewünschte Resultat. Die Lage der Funkenbahn ist selbst dann eine zu unstäte, wenn man die Salze in die conische Ausdrehung am Ende eines nicht zu schwachen Aluminiumdrahtes, in deren Mitte ein Platindraht befestigt ist, eindrückt und dem centralen Platindrahte den anderen Poldraht gegenüberstellt.[1]) Der Funken schlägt ebenso oft nach irgend einem Punkte des Randes, als nach der Mitte, die Interferenzstreifen springen im Gesichtsfelde hin und her, wenn kein Spalt benutzt wurde. Die Einschaltung einer Projectionslinse und Spaltvorrichtung half diesem Uebelstande nur dann ab, wenn die Spaltöffnung sehr eng gemacht wurde; alsdann setzte die Erscheinung aber jedesmal aus, wenn das Bild des Funkens nicht gerade auf den Spalt fiel: das Interferenzphänomen war intermittirend, die Beobachtung sehr erschwert. Ein Spalt ohne Linse reducirte die Helligkeit zu stark und machte den Vortheil grösserer Lichtentwickelung bei dieser Methode illusorisch.

3. Gase im Entladungsrohr. Als ganz vorzügliche Lichtquellen für den vorliegenden Zweck erwiesen sich verdünnte Gase und Dämpfe im Entladungsrohr. Besonders eignete sich das Quecksilber zur Erzeugung hoher Interferenzen, dessen grüne Linie eine Lichtquelle ist, welche bei grosser Intensität eine ausserordentliche Homogenität besitzt; sie übertrifft in dieser Beziehung noch die Natriumlinien und empfiehlt sich daher als Lichtquelle bei allen Untersuchungen, bei denen man eine hohe Interferenzfähigkeit braucht.

Es wurden Entladungsröhren der verschiedensten Formen verwendet; die Röhren mit Längsdurchsicht haben den Vorzug grosser Helligkeit, da aber bei ihnen das Licht aus verschiedenen Tiefen kommt, so waren sie im vorliegenden Falle nicht direct zur Beleuchtung zu verwenden, sondern

1) Vgl. die Abbildung bei Lockyer, l. c. p. 53.

ihr capillarer Theil musste erst auf einen Spalt projicirt werden, wodurch so viel Licht wieder verloren ging, dass ihre Anwendung keine besonderen Vortheile bot. An Röhren neuerer Construction erreicht man dadurch grössere Helligkeit, dass man die Electroden klein macht, wodurch das zum Uebergange der Electricität nöthige Potential gesteigert wird. Auch mit derartig construirten Röhren wurden Versuche angestellt. Der Vortheil grosser Helligkeit war aber von dem Nachtheil begleitet, dass bei diesen Röhren das Licht der einzelnen Linien merklich unhomogener ist, weshalb bei der vorliegenden Untersuchung einer Intensitätssteigerung auf diesem Wege sehr bald Grenzen gesetzt waren. Es wurde daher den gewöhnlichen Entladungsröhren mit Aluminiumdrähten an den Electroden und der Querdurchsicht durch das capillare Stück der Vorzug gegeben; ein Spalt war dabei entbehrlich.

Die Wasserstoffröhren habe ich selbst gefüllt; das electrolytisch dargestellte Gas wurde gewaschen und über Phosphorsäureanhydrid getrocknet. Der Druck betrug bei den verschiedenen Röhren 2—6 mm. In die Quecksilberröhren war ein Ueberschuss von Quecksilber hineingebracht worden; dieselben waren vollständig luftleer gepumpt, sodass in ihnen nur ein Druck entsprechend der Dampfspannung des Quecksilbers für die augenblickliche Temperatur herrschte. Um die Dampfmenge in ihnen constant zu erhalten, musste die Temperatur der Röhre für längere Zeit auf derselben Höhe gehalten werden. Dies wurde in einem Luftbade erreicht. Ein doppelwandiger Schwarzblechkasten, der zum Schutz gegen Strahlung noch mit Asbestpappe umhüllt war, umschloss die an einem Messingträger befestigte Spectralröhre. Der Zwischenraum zwischen beiden Wänden war mit Asche gefüllt; an der Vorderwand befand sich ein schmales, mit einem Glimmerblättchen geschlossenes Fenster, welches nur das Licht des capillaren Zwischenstückes heraustreten liess. Durch einen Thermoregulator wurde die Temperatur sehr constant auf 160, 165 oder 170° C. erhalten; (160° entspricht einer Dampfspannung des Quecksilbers von 5,9 mm). Ein neben das Entladungsrohr hinabreichendes, im Kastendeckel

befestigtes Thermometer gestattete, die im Innern herrschende Temperatur abzulesen. Die Zuleitungsdrähte waren in capillare Glasröhren eingelassen, welche sich erst unmittelbar an den Electrodenkappen der Spectralröhre haubenartig erweiterten. Dadurch war für völlige Isolation gesorgt. Der ganze Kasten wurde unmittelbar vor dem Beleuchtungsapparate aufgestellt.

Um constante Resultate bei den Spectralröhren zu erhalten, war es vor allem nöthig, die Unterbrechungen des Hauptstromes möglichst gleichförmig zu machen. Hierzu diente eine Stimmgabelunterbrechung mit Quecksilbercontacten, welche nach Art der Interruptoren für physiologische Zwecke mit verdünntem Alkohol gespült wurden. Fig. 2_a und 2_b gibt die Anordnung: An dem unteren Schenkel einer horizontal liegenden, electromagnetisch anzuregenden und in der Verticalebene schwingenden Stimmgabel ist mittelst der Messinghülse *A* der etwa millimeterdicke Platindraht *B* befestigt. (In Fig. 2_a sind die beiden Schenkel der Stimmgabel, welche auf den Beschauer zulaufend zu denken sind, durch zwei übereinander liegende kleine Rechtecke angedeutet; bei Fig. 2_b, welche die Ansicht von oben gibt, konnte nur ein Stück des oberen Schenkels angedeutet werden). Durch eine Pappunterlage ist die Messinghülse und damit der Platindraht von der Stimmgabel selbst isolirt. In dem Holzklotze *C* ist das Glasgefäss *D* befestigt, das unten in ein umgebogenes weiteres Rohr *E* ausläuft und etwa in mittlerer Höhe die horizontalen, einander genau gegenüberstehenden Röhren F_1 und F_2 trägt. Durch ein Stück von weitem Gummischlauch ist die Röhre *E* mit dem vertical über ihr stehenden und an dem Brettchen *H* befestigten, trichterartig erweiterten Rohrstück *G* verbunden. Durch *G* wird so viel Quecksilber in die Vorrichtung gegossen, dass der untere Rand des Meniscus eben an die Oeffnungen der Ansatzröhren F_1 und F_2 tritt; durch Klemmen des Schlauches mittelst des Quetschhahnes *J* kann man die Höhe des Quecksilbers in *D* sehr genau reguliren. Der Draht *B* wird so gebogen, dass sein Ende die Quecksilberoberfläche gerade berührt, wenn der Stimmgabelarm, auf dem er befestigt ist,

sich in der Ruhelage befindet. An dieser Stelle findet, wenn die Stimmgabel schwingt, die Stromunterbrechung statt. Durch F_1 fliesst Alkohol zu, durch F_2 wieder ab; Zu- und Abfluss werden so abgeglichen, dass der Draht B selbst bei den grössten Elongationen nicht aus der Alkoholschicht heraustritt. Durch das seitliche Rohr K findet der Ausfluss statt, wenn durch irgend ein Versehen der Zufluss zu reichlich geworden ist, oder das Abflussrohr sich verstopft hat.

Der Strom tritt an der Klemmschraube L ein, die in leitender Verbindung mit dem in den Holzklotz C eingelassenen Quecksilbernäpfchen M steht. In das Quecksilber dieses Näpfchens taucht das linke Ende des Drahtes B tief genug ein, sodass der Contact selbst bei den grössten Stimmgabelelongationen an dieser Stelle nicht aufgehoben wird. Durch B gelangt der Strom nach D hinein, wo er unterbrochen wird; die Weiterleitung geschieht durch den Kupferdraht N, der durch G so weit in den Gummischlauch eingeführt ist, dass er mit dem in demselben befindlichen Quecksilber in leitender Verbindung steht. In dem Grundriss der Fig. 2_b ist noch der Becher O mit aufgenommen, in dem die Unterbrechung des die Stimmgabel anregenden Nebenstromes stattfindet. Derselbe wird gleichfalls gespült; der Alkohol tritt durch P_1 ein, durch P_2 aus; Q ist ein höher gelegenes, dem K entsprechendes Abflussröhrchen, welches ein Ueberfliessen des Alkohols bei event. Versehen an diesem Becher verhütet.

Der verdünnte Alkohol (1 Theil Alkohol auf 2 bis 3 Theile Wasser) wird aus grossen Mariotte'schen Flaschen durch Glasröhren zugeführt. Die Luftröhren dieser Flaschen tragen oben Hähne. Mit ihrer Hülfe, sowie durch geeignet angebrachte Quetschhähne konnte der Zu- und Abfluss der Spülflüssigkeit genau regulirt werden. Die benutzte Stimmgabel machte 64 Schwingungen in der Secunde; sie wurde durch zwei Léclanché'sche Elemente in Bewegung gesetzt.

Das Functioniren dieser Unterbrechungsvorrichtung ist ein so regelmässiges, dass die Schichtungen in den Entladungsröhren völlig unbewegt an ihrer Stelle verharren, und kein Zucken oder Schwanken in der Lichtentwickelung zu bemerken ist.

Der Hauptstrom wurde durch dieselbe Gramme'sche Maschine wie bei den Versuchen unter 2. geliefert; bei den 64 Unterbrechungen stellte sich der Strommesser auf 3 Ampère ein. Durch eine Nebenschliessung mit variablem Widerstande konnte der Hauptstrom beliebig geschwächt werden.

B. Der Beleuchtungsapparat.

In dem Beleuchtungsapparate wurde das einfallende Licht prismatisch zerlegt und parallel gemacht; letzteres aus dem oben erwähnten Grunde (vgl. p. 7). Der Gang der Strahlen lässt sich aus der schematischen Skizze (Fig. 1) erkennen. Das von dem Spalte N, (an dessen Stelle auch direct die Funkenbahn im Fulgurator oder das capillare Stück einer Entladungsröhre treten kann), kommende Licht geht durch den Prismensatz G'; durch die Linse H' wird auf der Hypotenusenfläche des kleinen rechtwinkligen Prismas J' ein Spectrum entworfen, von dem die eine oder andere Strahlengruppe, an J' total reflectirt, senkrecht nach unten geworfen und durch die Linse K' parallel gemacht wird. Senkrecht und parallel fallen die Strahlen auf die auf dem Tischchen L' liegende Interferenzplatte M' auf und erzeugen an dieser die Interferenzcurven. Das Auge O' accommodirt durch die Linse K', die zugleich als Vergrösserungsglas dient, auf die Oberfläche M' und sieht hier die Interferenzstreifen. N' ist eine Blende, welche den in das Auge gelangenden Strahlenkegel nach Bedürfniss einzuschränken gestattet.

Die Einzelheiten der Construction ersieht man aus der perspectivischen Darstellung in Fig. 3. Der geradsichtige Prismensatz P besteht aus drei Prismen von 35 mm Höhe; die Dispersion betrug zwischen A und H 5^0. Die kleine Projectionslinse S hatte 7,5 cm Brennweite und 3 cm Oeffnung; die Entfernungen von Gegenstand und dem Prisma T waren so gewählt, dass bei Benutzung der Spaltvorrichtung (E' in Fig. 1) der volle Strahlenkegel (von 11^0 Oeffnungswinkel) verwendet wurde. Die Dispersion war dabei genügend, um die einzelnen Farbencomplexe auf dem Prisma T vollständig zu trennen. So wurden die dem Eigenlichte der Leuchtgasflamme zukommenden Banden im Grüngelb und

Grün, die selbst bei dem sehr intensiven Natriumlichte störend sind, vollständig von diesem abgesondert. Bei den Lithiumsalzen ist das Mitauftreten der Natriumlinie unvermeidlich; aber auch hier wurden, wenn der Spalt nicht gar zu weit war (1,5 bis 1,8 mm), beide Linien in ihrer ganzen Breite nebeneinander gelegt.

In einzelnen Fällen wurde die Linie, welche zur Beleuchtung dienen sollte, direct an dem Prisma *T* durch Ueberhängen eines, resp. zweier schmaler Streifen von schwarzem Papier herausgeblendet; in den meisten Fällen war dies nicht nöthig: Das gesammte Spectrum wurde vertical nach unten geworfen, wobei die durch den Prismensatz *P* getrennten Strahlen verschiedener Wellenlängen weiter voneinander divergirten. Die Auswahl einer einzelnen Farbe geschah nun einfach in der folgenden Weise: Das reflectirende Prisma *T* wurde durch den Arm *U* getragen, der an dem die Hülse *H* der Projectionslinse *S* umfassenden Ringe *V* befestigt war; dieser Ring liess sich auf *H* etwas drehen, wobei das ganze von *T* nach unten reflectirte Strahlensystem um eine Horizontalaxe gedreht wurde. Dadurch war es möglich, immer einen bestimmten Strahl senkrecht auf die Interferenzplatte *B* durch die Linse *W* hindurch fallen zu lassen; derselbe wurde senkrecht reflectirt und gelangte durch die Blende *J* (an *T* vorbei) in das Auge. Da nun die Oeffnungen der Blenden bei *J* im allgemeinen sehr klein waren, so hatten die den anderen gleichzeitig auftretenden Spectrallinien zukommenden Strahlen schon zu grosse Neigungen, um noch in das Auge gelangen zu können; das Gesichtsfeld, d. h. die ganze Interferenzplatte erschien vollständig gleichförmig erleuchtet.

Die grosse Linse *W* hatte 25,7 cm Brennweite, ihre Entfernung von der Mitte des total reflectirenden Prismas *T* betrug ebensoviel; ziemlich dicht unter ihr lagen die Interferenzplatten; die Vergrösserung der für das Auge als Lupe wirkenden Linse *W* war eine zweifache.

Ausser der oben erwähnten Drehung kann man *T* auch noch um eine senkrecht zur Ebene der Zeichnung stehende Axe drehen, wodurch immer die hellsten Partien der Spec-

trallinien auf die Platte gebracht werden können. Die Helligkeit des Interferenzbildes war eine sehr grosse, weil man frei von allen absorbirenden Medien ist, und die Zahl der spiegelnden und brechenden Flächen auf ein Minimum reducirt ist. Die nachherige Schwächung des Lichtes kann daher procentisch eine grosse sein, ehe die zu beobachtende Erscheinung unter die Reizschwelle sinkt.

Alle Theile des Apparates, Prismensatz P, Projectionslinse S mit totalreflectirendem Prisma T, Sammellinse W u. s. w. waren gegeneinander verstellbar. Das Ganze wurde von der auf dem Fussbrett vertical befestigten, hohlen Messingsäule O getragen; in ihr waren die Messinghülsen N und M verschiebbar. Diese Hülsen, sowie die Arme P_1 und P_2 konnten durch Peripherieklemmung in jeder Lage festgestellt werden. Der Apparat stand völlig frei und unmittelbar auf den Steinfliesen des im Parterrestockes gelegenen Beobachtungszimmers und war dadurch völlig vor Erschütterungen geschützt.

Der ganze Beleuchtungsapparat stand in einem allseitig geschwärzten Kasten, der nur nach hinten offen war, und in den sich der Beobachter selbst hineinsetzte. In der Vorderwand war eine kreisförmige Oeffnung, durch die nur die Hülse des Prismensatzes P hinausragte; durch geschwärzte Pappschirme wurde hier jede Spur von Nebenlicht abgehalten. Der Fussboden und das Stativ des Beleuchtungsapparates war ebenfalls mit schwarzem Tuche belegt; ausserdem wurde das Zimmer völlig verfinstert. Die Hülsen waren mit schwarzem Sammetpapier ausgelegt, sämmtliche Metalltheile schwarz gebeizt.

Die Veränderung der Helligkeit des Lichtes in seiner Bahn geschah an der Stelle A, am Ende der Hülse H; hier befand sich ein (in der Zeichnung fortgelassenes) an der Säule M befestigtes geschwärztes Tischchen, in welches bei A ein senkrecht zur Strahlenrichtung verlaufender Falz eingeschnitten war. Die Absorptionsgläser waren auf kleine, geschwärzte Papprähmchen geleimt, welche in jenen Falz eingeschoben wurden. Die Papprahmen liessen nur ein centrales Lichtbündel hindurch und ersetzten da-

durch gleichzeitig eine Blende an dieser Stelle des Beleuchtungsapparates.

Die absorbirenden Gläser waren aus einer grossen Auswahl von Rauchgläsern, wie sie zu Brillen verwendet werden, ausgesucht worden. Sie zeigten nur wenig prismatische Ablenkung und waren so aufgeklebt, dass die Richtung ihrer Prismenkante horizontal verlief, wenn die Papprahmen in den Falz eingeschoben waren; dadurch konnte sich ihre prismatische Wirkung nur in einem geringen Heben oder Senken des auf das Prisma *T* entworfenen Spectrums äussern, eine Wirkung, die immer leicht durch die zuletzt erwähnte Drehung des Prismas *T* um seine Horizontalaxe wieder aufgehoben werden konnte. Auf möglichste Farbenreinheit des Rauchglases wurde bei der Auswahl der benutzten 12 Gläser vor allen Dingen gesehen; indess gelang es nicht, namentlich bei den stärker absorbirenden, rein graue, alle Farben vollkommen gleichmässig absorbirende Gläser zu erlangen; einige von den dunkelsten zeigen einen deutlichen Stich ins Bläuliche und dementsprechend im Spectrum einige verwaschene, dem blauen Cobaltglas entsprechende, allerdings nur äusserst schwach angedeutete Absorptionsbanden im Roth, Gelb und Grün. Da aber die dadurch hervorgerufenen Unterschiede im Absorptionsvermögen für verschiedene Strahlengattungen immer noch so geringe sind, dass sie die bei den folgenden Bestimmungen der Extinctionscoëfficienten unvermeidlichen Beobachtungsfehler nur um Weniges übertreffen, so wurde von ihrer speciellen Berücksichtigung Abstand genommen und die Absorptionscoëfficienten nur für eine mittlere Strahlengattung bestimmt (λ etwa gleich 560 $\mu\mu$). Die in der folgenden Tab. I neben jeder Nummer der Absorptionsgläser stehenden Zahlen drücken aus, wie viel Procente des auffallenden Lichtes durch das betreffende Glas hindurchgeht; die Brüche daneben geben angenähert an, auf welchen Bruchtheil die Intensität des auffallenden Lichtes durch die einzelnen Gläser herabgesetzt wird. Die Absorptionscoëfficienten wurden mit einem Glan'schen Spectralphotometer von Schmidt und Haensch bestimmt; als Lichtquelle diente eine Gaslampe mit Rundbrenner.

Tabelle I.

Nr. des Absorptions-glases	Extinction		Nr. des Absorptions-glases	Extinction	
1.	71,3	$\frac{1}{1,4}$	7.	10,4	$\frac{1}{9,6}$
2.	54,4	$\frac{1}{1,9}$	8.	8,4	$\frac{1}{12}$
3.	29,4	$\frac{1}{3,4}$	9.	5,7	$\frac{1}{17,5}$
4.	18,0	$\frac{1}{5,5}$	10.	4,0	$\frac{1}{25}$
5.	15,0	$\frac{1}{6,7}$	11.	2,9	$\frac{1}{34,3}$
6.	11,2	$\frac{1}{9}$	12.	2,6	$\frac{1}{38,4}$

C. Der Interferenzenapparat.

Aus dem p. 3 angegebenen Grunde wurden die Interferenzen an schwach keilförmigen Glasplatten erzeugt. Es stand mir eine Reihe von sieben solcher Platten zur Verfügung, von denen ich vier aus einer grösseren Auswahl von Planparallelgläsern ausgesucht hatte; die übrigen drei waren mit bestimmten Keilwinkeln bestellt und in der optisch-astronomischen Anstalt von C. A. Steinheil Söhne in vorzüglichster Weise geschliffen worden, wofür ich den genannten Herren hier nochmals meinen Dank sage.

Die folgende Tabelle II (p. 26) gibt die Constanten der einzelnen Platten.

Die Dicken wurden mit einem Dickenmesser von Hermann und Pfister, der die halben Hundertel Millimeter direct messen, die halben Tausendtel Millimeter aber noch bequem schätzen liess, bestimmt; die Streifenabstände sind auf den Platten bei dem Lichte der grünen Quecksilberlinie gemessen, und daraus die Keilwinkel nach der Formel:

$$\alpha'' = \frac{56{,}310}{n_{\mathrm{Hg}_\alpha}} \cdot \frac{1}{\Delta^{\mathrm{mm}}}$$

berechnet worden.

Tabelle II.

Nummer der Platte		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Dicke in mm		1,256	2,598	3,383	3,688	4,888	5,801	7,495
Mittlerer Streifenabstand im Grün ($\lambda = 546{,}0\ \mu\mu$) in mm		1,6	1,8	1,4	5,0	3,0	1,2	3,6
Keilwinkel in Bogensecunden		23	21	27	7	12	31	10
Brechungsexponent im (gemessen)	Roth (Li_α, $\lambda = 670{,}5$)	1,5168	1,5110	1,5128	1,5102	1,5129	1,5123	1,5129
	Gelb (Na_α, 589,2)	1,5198	1,5141	1,5166	1,5128	1,5166	1,5162	1,5165
	Grün Hg_α, 546,0)	1,5228	1,5167	1,5192	1,5152	1,5191	1,5190	1,5198
Dispersionsconstanten	A	1,5050	1,4998	1,4995	1,5004	1,5009	1,4995	1,4995
	B	0,5309	0,5044	0,5929	0,4424	0,5486	0,5929	0,5929
Brechungsexponent für (interpolirt)	H_α (656,2)	1,5173	1,5115	1,5133	1,5107	1,5136	1,5133	1,5133
	Tl_α (534,7)	1,5236	1,5174	1,5202	1,5159	1,5201	1,5202	1,5202
	H_β (486,1)	1,5275	1,5211	1,5246	1,5191	1,5241	1,5246	1,5246
	Sr_δ (460,4)	1,5301	1,5236	1,5274	1,5213	1,5268	1,5274	1,5274
	Hg_β (437,7)	1,5327	1,5261	1,5304	1,5235	1,5295	1,5304	1,5304
Gangunterschiede für die Linie (in Wellenlängen)	Li_α	5683	11709	15266	16614	22058	26168	33823
	H_α	5808	11969	15604	16981	22549	26756	34570
	Na_α	6479	13353	17416	18938	25164	30053	38836
	Hg_α	7006	14434	18826	20469	27200	32278	41725
	Tl_α	7158	14746	19236	20912	27792	32986	42618
	H_β	7894	16259	21220	23050	30650	36388	47013
	Sr_δ	8348	17195	22446	24372	32420	38490	49729
	Hg_β	8796	18116	23657	25673	34160	40565	52412

Zur Bestimmung der Brechungsexponenten diente das Totalreflectometer von F. Kohlrausch. Direct gemessen wurden nur die Brechungsindices für Lithium-, Natrium-, und grünes Quecksilberlicht; bei dem Arbeiten mit ersterem hielt eine mit Fuchsin gefärbte Gelatineplatte die gelben Strahlen ab, bei Quecksilber konnte ein grünes Glas entbehrt werden, da sich die der grünen, weitaus am hellsten leuchtenden Linie zukommende Grenze der totalen Reflexion genügend scharf abhob. Die Platten III, VI und VII sind aus derselben Glassorte geschnitten; die grösste Abweichung der gemessenen Brechungsexponenten voneinander, welche bei diesen drei Platten vorkommt, beträgt 8 Einheiten der vierten Decimale. Von Hrn. Steinheil ist mir für die Glassorte dieser drei Platten als Brechungsexponent für die *D*-Linie der Werth 1,51604 gegeben worden, mit dem das Mittel meiner Messungen (1,5164) gut übereinstimmt.

Auf Grund der für Lithium und Quecksilber erhaltenen Zahlen wurden für die einzelnen Platten die zwei ersten Constanten *A* und *B* der Cauchy'schen Dispersionsformel berechnet; die Wellenlänge ist dabei in Zehntel Mikrons ausgedrückt. Mit Hülfe dieser Constanten wurden darauf die Brechungsexponenten der einzelnen Platten für die übrigen in der Tabelle aufgeführten Strahlengattungen berechnet; bei den Platten III, VI und VII wurde dabei das Mittel der gemessenen Werthe zu Grunde gelegt. Die Abweichungen der auf diese Weise auch für das Natrium zur Controle berechneten Brechungsindices von den gemessenen überstieg in keinem Falle 5 Einheiten der letzten Decimale; sie lagen also vollständig innerhalb der Grenze der unvermeidlichen Beobachtungsfehler, was die Beschränkung auf die beiden ersten Constanten der Dispersionsformel vollauf rechtfertigt.

Mit Hülfe der so gewonnenen Zahlen wurden die Gangunterschiede für die verschiedenen Lichtgattungen, welche bei den Untersuchungen zur Verwendung kamen, an den einzelnen Platten nach der Formel:

$$m = 2\Delta n / \lambda$$

berechnet. Allen Berechnungen wurden durchweg die Huggins'schen Zahlen für die Wellenlängen zu Grunde gelegt.

Die Interferenzstreifen an den Platten waren im allgemeinen nicht völlig geradlinig, sondern auf den verschiedenen Platten verschieden schwach gekrümmt. Indessen verliefen die Interferenzcurven wenigstens in den Mitten der Platten sehr nahe aequidistant, sodass immer ein Durchmesser derselben angegeben werden konnte, welcher fast sämmtliche Streifen rechtwinkelig traf. Nach diesen Durchmessern wurden die Platten durchgeschnitten; die Schnittflächen waren eben und genau senkrecht zur Plattenoberfläche geschliffen worden. Die Facettirung der Kanten war so schmal, dass die beiden Hälften ganz dicht aneinander grenzten und die Trennungsfuge der beiden Oberflächentheile äusserst schmal war.

Die beiden Plattenhälften B (Fig. 3) waren auf das Tischchen C unter der Linse W des Beleuchtungsapparates gelegt. Damit auf beiden Hälften die Interferenzstreifen für eine bestimmte Stellung des Auges bei T gleichzeitig deutlich waren, mussten die unteren Flächen der Interferenzgläser in einer Ebene liegen. Dazu war auf das Tischchen C die matt und sehr eben geschliffene Platte D aus schwarzem Glase gekittet. Auf diese brauchten die Gläser nach sorgfältiger Reinigung nur eine Zeit lang aufgerieben zu werden, um ein vollständiges Aufliegen und damit ein genaues Entsprechen der Unterflächen herbeizuführen. Das Tischchen C mit der Platte D wurde mittelst dreier Fussschrauben genau justirt. Die Fussplatten dieser Schrauben waren auf eine Spiegelglasplatte G_1 aufgekittet, welche sich über eine andere, ebenfalls sehr eben geschliffene Glasplatte G_2 sich selbst parallel hinverschieben liess; dadurch wurde es ermöglicht, die Interferenzplatten an andere Stellen des auffallenden Lichtbündels zu bringen, ohne ihre Neigung gegen dieses zu ändern, was bei der Einstellung von Wichtigkeit war.

Um bei den einzelnen Plattenhälften die Richtung der Verjüngung festzustellen und die zusammengehörigen Plattenhälften so aneinander zu legen, dass die Keilverjüngungen nach entgegengesetzten Seiten gerichtet waren, wurde folgendes Verfahren eingeschlagen: Die Verbindungslinie zweier von den Fussschrauben des Tischchens C wurde der Längs-

richtung des auf der Interferenzplatte *B* entworfenen Spectrums parallel gestellt; die Platte *B* wurde so aufgelegt, dass ihre Schnittlinie senkrecht zu dieser Verbindungslinie verlief; die unmittelbar aneinander liegenden Theile beider Plattenhälften waren dann mit derselben homogenen Lichtgattung beleuchtet. Waren Interferenzstreifen deutlich zu sehen, und wurde an der dritten Fussschraube gedreht, so schoben sich die Interferenzstreifen hin und her, und zwar in entgegengesetztem Sinne, wenn die beiden keilförmigen Hälften gegeneinander lagen, weil dann durch dieselbe Drehung auf der einen Seite dünnere, auf der anderen dickere Plattenstellen in den Weg der in das Auge gelangenden Strahlen gebracht wurden. War der Sinn der Keilförmigkeit für ein Plattenpaar einmal bestimmt worden, so wurde er an demselben durch geeignete Zeichen markirt. Bei den Beobachtungen wurde ferner in derselben Weise durch Drehen an einer Fussschraube irgend ein Streifen der einen Hälfte mit einem benachbarten der anderen Hälfte zur genauen Coincidenz gebracht.

Der ganze Interferenzenapparat ruhte auf einem dreibeinigen, festen Holzschemel *F*, der auf dem Fussbrett des Beleuchtungsapparates befestigt war.

Schliesslich war es noch nöthig, dem Auge eine feste Stellung zu geben. Zu dem Zwecke war oberhalb *T* eine Revolverblende mit Echappement *J* angebracht, die durch einen Arm vermittelst der Schraube *H* an den Ring *V* befestigt war. Von den sechs Oeffnungen der Blende hatte die grösste 2,6 mm, die kleinste 0,3 mm im Durchmesser. Für die einzelnen Oeffnungen waren die Durchmesser von folgender Grösse:

Blende	Nr.	1	: 2,6	mm
„	„	2	: 2,1	„
„	„	3	: 1,6	„
„	„	4	: 1,2	„
„	„	5	: 0,7	„
„	„	6	: 0,3	„

Durch die kleinen Blendenöffnungen wurde zugleich der benutzte Lichtkegel in solchem Maasse verengert, wie es

nöthig ist, wenn man bei sehr grossen Gangunterschieden noch deutliche Interferenzbilder erhalten will (siehe oben p. 7). —

Bei den schliesslichen Bestimmungen wurde immer von Dunkel zu Hell beobachtet, d. h. bei verdunkeltem Gesichtsfelde wurde ein Streifen, der mit einem entsprechenden coincidirte, aufgesucht, oder diese Coincidenz wurde durch Drehen an den Fussschrauben herbeigeführt; der Streifen wurde sodann durch Auflegen von schwarzen Papierstreifen herausgeblendet, und hierauf das Absorptionsglas weggenommen; zur Controle wurde wieder verdunkelt und diese Operation mehrfach wiederholt.

Fehlerquellen.

Ehe zu den eigentlichen Messungen geschritten werden konnte, wurden die eventuellen Fehlerquellen des Apparates durch eine umfangreiche Voruntersuchung aufgesucht, und ihr Einfluss auf die zu beobachtenden Grössen festgestellt. Die ganze Versuchsanordnung war so zu treffen, dass durch die unvermeidlichen Schwankungen der Versuchsbedingungen in den einzelnen Theilen keine Streifenverschiebung herbeigeführt wurde.

Streifenverschiebungen können unabhängig von einer Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des die Interferenzplatten durchsetzenden Lichtes erstens durch Vorgänge im Beleuchtungsapparate, zweitens durch Vorgänge an den Lichtquellen zu Stande kommen.

Im Beleuchtungsapparate ruft jede Aenderung der Plattenneigung gegen das auffallende Lichtbündel eine Streifenverschiebung hervor; die Verschiebung kann freilich nur bei Anwendung der grössten Blendenöffnungen eine beträchtliche werden oder dann, wenn das Auge ohne Blende mit seiner vollen Pupillenöffnung den Strahlenkegel aufnimmt. Bei engen Blenden trifft schon bei sehr geringen Abweichungen der Interferenzplatten von der Senkrechtlage gegen das auffallende Strahlenbündel das reflectirte Bündel überhaupt nicht mehr die Blendenöffnung.

Wurde an dem Apparate nichts verstellt, so zeigte sich

auch während des Beobachtens keine Verschiebung; es zeigt dies, dass die Körperwärme des Beobachters auf die Fussschrauben des Interferenztischchens nicht in einer Weise einwirkte, welche eine selbständige Verschiebung zur Folge gehabt hätte; es wurde daher von besonderen Vorkehrungen zur Constanterhaltung der Temperatur Abstand genommen.

Eine Streifenverschiebung tritt ferner ein, wenn man das Auge bewegt. Dies hat seinen Grund darin, dass das Prisma *T* (Fig. 3) nicht unendlich klein, und das hier auftretende Spectrum von endlicher Breite ist; dadurch kommen neben den wirklich parallelen Strahlen noch solche von schwacher Convergenz und Divergenz auf die Platten bei *B*, es gibt also eine grössere Anzahl von Punkten in der Nähe der Blendenöffnung bei *J*, nach denen Strahlen hin reflectirt werden. Von jedem derselben aus erblickt demnach das Auge, auf die Platte durch die Linse *W* hinsehend, Interferenzstreifen. Für jeden Punkt ist aber die Neigung, unter der die Strahlen die Platte passirt haben, eine verschiedene, darum auch die in Betracht kommende Dicke und damit der Gangunterschied. Die hierdurch an einem Plattenort hervorgerufene scheinbare Verschiebung ist eine sehr bedeutende, wenn das Auge sich frei bewegt, sie wird aber schon durch die weitesten Blendenöffnungen so sehr beschränkt, dass sie bei den kleineren Gangunterschieden überhaupt nicht, bei den grösseren kaum bemerklich ist. Für jeden Gangunterschied gibt es aber eine gewisse Blendenöffnung, welche die Augenbewegung vollständig unschädlich macht. Schaltet man diese ein und klemmt die Blende mit der Klemmschraube *H* an den Beleuchtungsapparat fest, so ist auch diese Fehlerquelle vollkommen eliminirt.

Um sich von der Stabilität des Ganzen auch für längere Dauer zu überzeugen, wurde bei einer bestimmten Platte ein Streifen genau auf einen der anderen Hälfte eingestellt und beide mit ihrer unmittelbaren Umgebung aus dem ganzen Interferenzbilde durch aufgelegte Streifen aus schwarzem Carton herausgeblendet. Nun wurde der Apparat sich selbst überlassen. Nach geraumer Zeit konnte man sich überzeugen, dass die beiden Streifen noch genau in ihrer gegen-

seitigen Verlängerung lagen, inzwischen also keine merkliche Aenderung in der Aufstellung vorgefallen war. Selbst heftige Gehbewegungen im Zimmer, sogar ein Anstossen an den den Beleuchtungsapparat unmittelbar umgebenden Dunkelkasten hatten keinen störenden Einfluss.

Bezüglich der prismatischen Gestalt der Absorptionsgläser war schon oben bemerkt worden, dass die Gläser so in den Gang der Lichtstrahlen gebracht wurden, dass die Richtung ihrer Prismenkante parallel zu den Kanten des totalreflectirenden Prismas T (Fig. 3) und senkrecht zu den Kanten des Prismensatzes P lag. Davon, dass bei dieser Lage ihr Ein- und Ausschalten keinen Einfluss auf die Streifenlage hatte, überzeugte ich mich dadurch, dass ich eine viel dickere und bei weitem stärker prismatische, aber ungeschwärzte Glasplatte an der Stelle einschaltete, wo sonst die Absorptionsgläser eingeschoben wurden. Der Keilwinkel derselben betrug etwa 9 Bogenminuten; dies war etwa doppelt soviel, als das am meisten prismatische Absorptionsglas aufzuweisen hatte. Wenn die brechende Kante dieses prismatischen Glases vertical stand, machte sich die durch sie herbeigeführte Ablenkung der Strahlen dadurch bemerklich, dass das Licht nur unvollständig auf die Interferenzplatten gelangte; ein Theil desselben fiel neben dieselbe. Dieser störende Einfluss verminderte sich in dem Maasse, als sich die Prismenkante des Glases der Horizontalen näherte; sie verschwand völlig, wenn dieselbe genau horizontal lag; also war nicht zu befürchten, dass aus der primatischen Gestalt der auf die Papprahmen in der geeigneten Stellung befestigten Absorptionsgläser Störungen entstanden.

Was die Vorgänge in den Lichtquellen betrifft, welche eine Verschiebung möglicher Weise selbstthätig hätten hervorbringen können, so ist zunächst bei den Flammen die Art der Verbrennung unvermeidlichen Schwankungen unterworfen. Weder der Gasdruck, noch der Druck der zugeführten Luft ist absolut constant zu erhalten. Ob Schwankungen dieser beiden Factoren innerhalb der Versuchsgrenzen einen Einfluss haben können oder nicht, wurde durch directe Versuche entschieden. Als ein Streifen zur Coincidenz ge-

bracht und in der vorhin erwähnten Art ausgeblendet worden war, wurde der Gasdruck von der normalen Höhe von 22 mm Wasserdruck, auf der er sich mit grosser Constanz erhielt, auf 17 mm verkleinert. Die Flammenhöhe wurde dadurch stark herabgesetzt, und da der Luftzutritt nicht vermindert wurde, so fing die Flamme an zu prasseln und zu zucken. Nichtsdestoweniger war der Streifen noch völlig an seinem Platze. Bei weiterer Verminderung des Gaszuflusses verlor die Flamme so sehr an Leuchtkraft, dass der Streifen nicht mehr sichtbar war. Die unvermeidlichen geringen Schwankungen des Gasdruckes, welche vorkamen, haben also sicher erst recht keinen merklichen Einfluss.

In ähnlicher Weise wurde bei einer anderen Versuchsreihe der Druck der Luft erheblich stärker herabgesetzt, als es bei den Messungen der Fall war. Mit dem Luftdruck, der bei den Messungen selbst nur um wenige Centimeter um 147 cm Wassersäule (= 10,8 cm Quecksilber) schwankte, wurde successiv bis auf 86 cm Wasser = 6,3 cm Quecksilber hinabgegangen; eine Streifenverschiebung war nicht bemerkbar. Bei dieser Druckhöhe, die beinahe die Hälfte der normalen betrug, musste abgebrochen werden, weil die weiss leuchtenden Striemen, welche als Zeichen unvollständiger Verbrennung an der Flammenspitze sichtbar wurden, sich bis in die benutzten, durch das ovale Fenster W_1 (Fig. 1) ausgeblendeten Theile herab zu erstrecken begannen; über die Interferenzplatten breitete sich dadurch ein continuirliches Spectrum aus und überdeckte die Streifen.

Endlich wurden verschiedene mal sowohl Luft- wie Gasdruck geändert und dadurch bei demselben äusseren Charakter der Flammen verschiedene Flammenhöhen in ihrem Verhalten gegeneinander verglichen. Die Grenzen, innerhalb deren diese Aenderungen der Flammenhöhen stattgefunden haben, liegen zwischen 35 und 23 mm (Höhe des inneren blauen Kegels). Auch bei diesen Versuchen zeigten die Interferenzstreifen eine vollkommene Constanz ihrer Lage.

Bei der Lichterzeugung durch electrische Entladungen wurde die Art der Lichtentwickelung abgeändert:

1. durch Intensitätsänderungen im primären Strome des

Inductoriums; dazu wurde ein Nebenschluss mit wechselndem Widerstande gebildet;

2. durch Aenderungen der bei den einzelnen Entladungen übergehenden Electricitätsmengen durch Ein- und Ausschalten einer grossen Leydener Flasche, die durch den inducirten Strom geladen wurde, und die sich dann durch die Geissler'sche Röhre entlud;

3. durch Ein- und Ausschalten von Funkenstrecken von 0,6 bis 6,8 mm Länge;

4. dadurch, dass der Unterbrecher gespült und nicht gespült wurde, oder ganz ohne Zwischenschicht von Alkohol funktionirte.

Durch diese Abänderungen wurde die Helligkeit in so weiten Graden geändert, als überhaupt möglich war; eine obere Grenze ist dadurch gegeben, dass bei allzu grosser Steigerung der Helligkeit der leuchtenden Gase, z. B. bei Einschaltung von Condensatoren, die Linien sich stark verbreitern und dadurch so unhomogen werden, dass hohe Gangunterschiede nicht mehr Anwendung finden können. Die untere Grenze erreichte man bei derjenigen Schwächung, bei welcher Streifen nicht mehr erkannt werden konnten. Es wurden also auch hier die das Leuchten bestimmenden Momente in so weiten Grenzen variirt, als die Interferenzerscheinungen überhaupt zuliessen, und doch ist niemals auch nur eine Spur von Streifenverschiebung bemerkt worden.

Die hier eingeschlagene Beobachtungsmethode zeigte daher in allen ihren Theilen eine hinreichend grosse Constanz der Bedingungen, unter denen die Beobachtungen stattfinden konnten. Erst nachdem man sich darüber vergewissert hatte, wurde zu diesen selbst übergegangen, d. h. es wurde die Lichtentwickelung möglichst constant erhalten und die Intensität des Lichtes in seiner Bahn verändert.

Beobachtungen.

Schon Vorversuche hatten gezeigt, dass bei einer Aenderung der Helligkeit des auffallenden Lichtes keine Streifenverschiebung erfolgt, dass also die Wellenlänge unabhängig von der Helligkeit ist. Durch die definitiven Beobachtungen

sollte nun festgestellt werden, innerhalb welcher Grenzen die Constanz der Wellenlänge nachweisbar ist. Dazu wurde zunächst für jede der einzelnen Lichtarten die dickste Platte ausgesucht, welche bei grösstmöglichem Gangunterschiede gerade noch so deutliche Streifen zeigte, dass dieselben auch bei einer grossen Verdunkelung des Gesichtsfeldes noch wahrnehmbar waren. Bei Anwendung der Flammen war die Wahl der Verbindung des in Frage kommenden Metalls nicht ohne Bedeutung; ferner musste durch Versuche diejenige Concentration der Salzlösung ermittelt werden, welche bei hinreichender Helligkeit das homogenste Licht gab. Endlich wurde das eben noch anwendbare Absorptionsglas für jeden einzelnen Fall durch Probiren ermittelt.

Jeder dieser einzelnen Versuche hatte schon an sich für die hier zu lösende Frage eine directe Bedeutung, weil bei jedem die Constanz der Streifenlage constatirt wurde. Indessen ist die Zahl der einzelnen Messungen zu gross, um sie hier sämmtlich mitzutheilen. Im Folgenden werden nach den Lichtgattungen geordnet nur die oberen Grenzen der Gangunterschiede und der dabei noch vorgenommenen Lichtschwächungen angegeben werden.

1. Natrium. Bei dem Natrium konnte infolge der Uebereinanderlagerung der zwei Interferenzsysteme, welche die beiden Linien für sich erzeugen, die Erscheinung schon bei gewissen niedrigen Gangunterschieden[1]) schwierig und undeutlich werden, während sie bei höheren wieder deutlich ist. Da man bei der Verwendung von Glasplatten an bestimmte, gerade vorhandene Dicken und damit an gewisse Gangunterschiede gebunden ist, so lieferten einige relativ dünne von den disponiblen Platten keine Interferenzstreifen mehr. Dieser Uebelstand traf auch die Platten VI und VII, ich konnte daher nur bis Platte V, d. h. bis zu 25 000 Wellenlängen Gangunterschied aufsteigen, wiewohl das erhaltene Licht noch bei 50 000 bis 60 000 Undulationen Gangunterschied Interferenzstreifen zeigte, wovon ich mich durch andere Versuchs-

1) Vgl. Fizeau, Ann. de chim. et de phys. (3) **66.** p. 429. 1862.

reihen überzeugte. Ausgezeichnet scharf waren die Streifen bei Platte II zu sehen, weniger gut auf Platte I und III.

Von den untersuchten Salzen NaCl, $Na_2SO_4 + 10H_2O$, $NaNO_3$, $NaClO_3$, $NaHCO_3$ und $Na_2HPO_4 + 12H_2O$ gab das letztere das homogenste Licht; dagegen zeichnete sich das Chlorid durch die grösste Lichtmenge aus und gab bei schwachen Concentrationen genügend reine Interferenzbilder bei dem höchsten der verwendeten Gangunterschiede. Dasselbe wurde daher vorwiegend angewendet; die Concentrationen waren 1 : 10 000, 1 : 50 000 und 1 : 100 000. Bei diesen schwachen Salzlösungen war die Flamme noch deutlich gefärbt, die Streifen an Platte V sehr scharf und deutlich. Sie waren hier auch bei viel stärkeren Concentrationen (1 : 1000, ja sogar bei 1 : 500) noch zu sehen, wo das Licht sehr hell, aber auch sehr unhomogen ist; die Streifen waren daher verwaschen, und die schwächeren Concentrationen wurden vorgezogen. Im Fulgurator war das Licht der verdampfenden Natriumsalze zwar ein sehr intensives, aber die Homogenität war so stark vermindert, dass Streifen nur bei den geringsten Gangunterschieden sichtbar waren; es wurden darum für dieses Metall die Flammen ausschliesslich verwendet.

Die Versuche wurden an den Platten I, II, III und V angestellt und ergaben u. a. folgende Werthe:

NaCl: Platte V: Concentration 1 : 10 000; Flammenhöhe 29 mm; Spaltbreite 2,2 mm. Blendenöffnung Nr. 4, Absorptionsgläser Nr. 6, 7, 9, endlich auch 10 (Abschwächung bis auf $^1/_{25}$).

NaCl: Platte V; Concentration 1 : 50 000; Flammenhöhe 35 mm; Spaltbreite 2,2 mm; Blende Nr. 3, Gesichtsfeld noch ziemlich hell. Absorptionsglas Nr. 7 (Abschwächung bis auf $^1/_{10}$).

NaCl: Platte V; Concentration 1 : 50 000; Flammenhöhe vor der Untersuchung 31, nach derselben 30 mm; Spaltbreite 2,1 mm, Blendenöffnung Nr. 3, Absorptionsgläser Nr. 6, 7 und 8, letzteres schwer zu verwenden (maximale Abschwächung $^1/_{12}$).

$NaHCO_3$: Platte V; Concentration 1 : 5000; Flammenhöhe 34 mm; Spaltbreite 2,0 mm; Blende Nr. 2. Streifen sehr

scharf. Absorptionsgläser bis Nr. 11 verwendbar (Abschwächung $^1/_{34}$).

In keinem Falle trat eine Verschiebung ein: bei dem Lichte der Natriumlinien ändert eine Abschwächung bis auf 3 Proc. die mittlere Wellenlänge noch nicht um $1/20 \times 25\,000 = 1/500\,000$ ihres eigenen Betrages.

2. Lithium. In dem Lichte der rothen Lithiumlinie konnte man bei den Platten I und II deutliche Interferenzstreifen sehen; bei Platte III war dies schwierig, bei Platte IV waren Streifen nur angedeutet. Dabei wurde das Chlorid ausschliesslich, und zwar in den Concentrationen 1:100, 1:300, 1:500 und 1:1000 verwendet. Das Mitauftreten der Natriumlinie, das sich nicht vermeiden lässt, erschwerte die Beobachtung einigermassen; doch waren bei 1,4 mm weiter Spaltbreite beide Linien auf dem totalreflectirenden Prisma so weit getrennt, dass die Anwendung einer gefärbten Gelatineplatte zur Eliminirung des gelben Lichtes nicht nöthig war. Die Beobachtungen bei dem Lithiumlicht waren dadurch sehr erschwert, dass das Auge für Strahlen von so geringer Brechbarkeit sehr unempfindlich ist.

Folgendes ist ein Auszug aus den Beobachtungen:

LiCl: Platte Nr. II; Concentration 1:500; Flammenhöhe 30 mm; Spaltbreite 1,4 mm; Blendenöffnung Nr. 2. Absorptionsglas Nr. 6 kaum mehr anzuwenden. (Schwächung auf $^1/_9$).

Platte Nr. III; Blende Nr. 3; alles Uebrige wie oben. Absorptionsglas Nr. 5. (Abschwächung $^1/_7$).

LiCl: Platte Nr. II; Concentration 1:100; Blende Nr. 2; Flammenhöhe und Spaltbreite wie oben. Absorptionsgläser Nr. 4, 5 und 6 (Schwächung bis auf $^1/_9$).

LiCl: Platte Nr. II; Concentration 1:1000. Das Uebrige wie oben. Streifen noch deutlich; Absorptionsglas Nr. 6 ($^1/_9$) verwendbar. Bei Platte III Streifen schon ziemlich schwach.

LiCl: Platte II; Concentration 1:100; Helligkeit sehr gross. Blende Nr. 1; Absorptionsglas Nr. 8 ($^1/_{12}$) noch anwendbar. Bei Platte III Streifen noch gut, aber Verdun-

kelung schwer; Absorptionsglas Nr. 6 ($^1/_9$) kaum mehr anwendbar.

Ein anderer Beobachtungstag ergab unter gleichen äusseren Bedingungen bei der Concentration 1 : 100: Absorptionsglas Nr. 8 bei Platte II noch ohne Schwierigkeit anwendbar; es konnte sogar noch mit der Combination 1 und 6 (Abschwächung bis auf $^1/_{13}$) gearbeitet werden. Bei Platte Nr. III, Blende Nr. 3 konnte noch bis Absorptionsglas Nr. 7 (Schwächung $^1/_{10}$) gegangen werden.

Niemals war eine Verschiebung bemerkbar.

Wie man sieht, weichen die Grenzen, bis zu denen man mit der Abschwächung in den einzelnen Fällen gelangte, bei den einzelnen Reihen, die an verschiedenen Beobachtungstagen angestellt wurden, etwas voneinander ab. Dies ist nicht zu verwundern, da die so sehr wechselnde grössere oder geringere Empfindlichkeit des Auges bei diesen schwierigen Beobachtungen sehr wesentlich ins Gewicht fällt. Auch lässt sich bei den Beobachtungen der Einfluss einer gewissen Uebung nicht verkennen, die sich das Auge allmählich aneignet, selbst bei ungewöhnlichen Beleuchtungen allmählich deutlicher zu sehen.

Ausser diesen mit der Flamme angestellten Versuchen wurde Lithium noch im Fulgurator untersucht; das benutzte Lithiumsalz (LiCl) war durch Auflösen in Aether von dem stark verunreinigenden NaCl möglichst befreit worden.

Bei Anwendung von Platte II und Blendenöffnung Nr. 1 konnte noch bis auf $^1/_9$ geschwächt werden, ohne dass die Streifen gänzlich unsichtbar wurden; eine Verschiebung wurde dabei ebensowenig wie in den anderen Fällen beobachtet.

Auf Grund der obigen Beobachtungen kommt man zu dem Schlusse, dass man das rothe Lithiumlicht bei 15000 Wellenlängen Gangunterschied bis auf $^1/_{10}$ des anfänglichen Betrages abschwächen kann, ohne eine Streifenverschiebung zu bemerken. Ist auch hier unter den schwierigeren Versuchsbedingungen eine Verschiebung um $^1/_{20}$ Streifenbreite noch bemerkbar, so ist bei der angegebenen Lichtschwächung der Bereich einer möglichen Wellenlängenänderung unter der Grenze von $^1/_{300000}$ einer Wellenlänge zu suchen.

3. Strontium. In den Spectren der Strontiumsalze, wie man sie sehr hell in dem Fulgurator bei nicht zu schwachen Concentrationen der Lösungen (im Folgenden wurde 1 : 100 für $SrCl_2$ angewendet) erhält, gehört die Linie Sr_δ ($\lambda = 460{,}4\ \mu\mu$) dem Metalle an. Sie allein hat den Charakter einer Metalllinie, sie ist scharf, homogen, und ihr Licht bis zu hohen Gangunterschieden interferenzfähig, während die anderen Linien mehr oder weniger breite und verwaschene Banden sind, indem sie Verbindungsspectren darstellen, welche natürlich keine hohen Interferenzen geben. Die blaue Strontiumlinie konnte trotz der geringen Empfindlichkeit des Auges für die Strahlengattungen ihrer Brechbarkeit für die vorliegenden Zwecke benutzt werden.

Auf Platte II gab das Licht dieser Linie bei Blende 3 sehr scharfe Streifen, die freilich sehr nahe aneinander lagen. Trotzdem konnte man sie noch erkennen, wenn die ursprüngliche Helligkeit durch das Absorptionsglas Nr. 6 auf $^1/_9$ herabgesetzt wurde. Bei der Platte I kam man ebensoweit.

Absolute Constanz der Streifenlage bis zum völligen Verschwinden wurde auch hier constatirt, was auf eine Unveränderlichkeit der Wellenlänge bis auf $^1/_{3\,10\,000}$ schliessen lässt, vorausgesetzt, dass man auch hier $^1/_{20}$ Streifenabstand unterscheiden kann.

4. Thallium. Sowohl TlCl als Tl_2SO_4 und $TlNO_3$, letzteres sogar in ziemlich concentrirten Lösungen (1 : 50), ertheilten den Flammen bei der Zerstäubungsmethode nur eine verhältnissmässig schwache Färbung. Dagegen konnten sie im Fulgurator untersucht werden; die Helligkeit der grünen Linie war hier eine ausserordentlich grosse. Dabei war das Licht noch verhältnissmässig sehr homogen, und da das Auge gerade für Grün am empfindlichsten ist, so eigneten sich die Thalliumsalze bei dieser Form der Lichtentwickelung ganz vorwiegend für den vorliegenden Zweck.

$TlNO_3$: Platte Nr. VII; Concentration 1 : 1000; Blende 2. Absorptionsgläser Nr. 7, 8 und 9.

Dasselbe; Concentration 1 : 50; Blende 4. Absorptionsglas Nr. 9, mitunter sogar Nr. 10 noch anwendbar.

Eine Verminderung der Helligkeit bis auf $^1/_{18}$ oder $^1/_{20}$ hat die Wellenlänge also noch nicht um $^1/_{860\,000}$ geändert.

5. Wasserstoff. Die rothe Wasserstofflinie gab bei einigen Spectralröhren an allen Platten bis Nr. IV deutliche Interferenzstreifen; bei einer konnte noch Platte V benutzt werden. Die höchste Verdunkelung, die bei Platte IV (Blende 2) angewendet werden konnte, war die von Absorptionsglas Nr. 11 ($^1/_{34}$); bei Platte V (Blende 4) konnte Nr. 8, sogar, wenn auch mit geringerem Grade von Sicherheit, Nr. 9 noch angewendet werden ($^1/_{12}$, resp. $^1/_{18}$).

Demnach wurde für die rothe Wasserstofflinie die Constanz der Wellenlänge bis auf $^1/_{340\,000}$ bei Abschwächung bis auf $^1/_{34}$, und bis auf $^1/_{460\,000}$ der Wellenlänge bei Abschwächung bis auf $^1/_{12}$, resp. $^1/_{18}$ festgestellt.

Die grünblaue Wasserstofflinie H_β gab bei Platte IV noch Streifen; dieselben waren aber sehr schwach und vertrugen keine erhebliche Verdunkelung mehr; bei Platte III waren die Streifen recht deutlich, doch waren Messungen durch den geringen Abstand der Streifen voneinander sehr erschwert. Bei Platte II (Blende 2) wurde noch das Absorptionsglas Nr. 7 mit Erfolg angewendet.

Es folgt daraus für diese Lichtgattung eine Constanz der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bis auf $^1/_{320\,000}$ bei einer Helligkeitsvariation, welche fast bis auf $^1/_{10}$ der ursprünglichen Helligkeit herabging.

6. Quecksilber. Alle bisherigen Resultate werden an Sicherheit und Bedeutung durch die bei der grünen Quecksilberlinie erhaltenen übertroffen. Bei den 42000 Wellenlängen Gangunterschied, welche die Platte VII bei dieser Lichtgattung lieferte, war die Helligkeit des Interferenzbildes eine fast blendende; die Abschwächung des Lichtes, welche man vornehmen konnte, daher eine sehr bedeutende. Dabei betrug die Temperatur des Luftbades bei den verschiedenen Versuchen 160 bis 170°, die Spannung der Quecksilberdämpfe im Entladungsrohre also 5,9 bis 8,1 mm. Um scharfe Bilder zu bekommen, wurde immer die engste Blendenöffnung (Nr. 6) gewählt.

Zur Verminderung der Helligkeit bis zu der Grenze der Sichtbarkeit reichten die einfachen Absorptionsgläser (selbst das dunkelste, Nr. 12, welches jede auffallende Helligkeit auf $^1{}_{38}$ herabsetzte) noch nicht aus; es wurden Combinationen von zweien benutzt. So wurden Nr. 12 und 3 combinirt, einmal sogar Nr. 12 mit Nr. 5. In diesem letzten Falle betrug die Helligkeit des Gesammtlichtes nur noch $^1/_{250}$ der ursprünglichen; nichtsdestoweniger lagen die Streifen noch deutlich wahrnehmbar an ihrer ursprünglichen Stelle, was die Unveränderlichkeit der Wellenlänge bis auf $^1/_{840\,000}$ des eigenen Betrages innerhalb der Intensitätsgrenzen 1 und $^1/_{250}$ beweist.

Ausser der grünen ist die blaue Quecksilberlinie Hg_β in hohem Grade interferenzfähig; freilich setzt hier die Unempfindlichkeit des Auges für die kürzeren Wellenlängen der Abschwächung des auffallenden Lichtes sehr bald Grenzen. Bei Platte IV konnte mit der Absorption bis zu der von Glas Nr. 7 fortgeschritten werden. Für Hg_β steht also die Unveränderlichkeit der Wellenlänge bis $^1/_{520\,000}$ fest bei Intensitäten zwischen 1 und ca. $^1/_{10}$.

In dem Abschnitte Fehlerquellen haben wir nachgewiesen, dass unter den überhaupt vorhandenen Veränderungen der Versuchsbedingungen unabhängig von der Intensität des Lichtes keine solchen sind, welche eine Verschiebung der Streifen hervorrufen könnten. Die mitgetheilten Versuche beweisen also innerhalb der angegebenen Grenzen die Unabhängigkeit der Wellenlänge von der Helligkeit.

In der folgenden Tabelle sind die acht einfachen Lichtgattungen, für welche diese Unabhängigkeit nachgewiesen worden ist, nochmals übersichtlich zusammengestellt mit Angabe der Grenzen, innerhalb deren die Helligkeitsänderungen vorgenommen wurden, und des Grades der Genauigkeit, bis zu dem die Unabhängigkeit festgestellt worden ist; die obere Grenze, d. h. die unverminderte Helligkeit der betreffenden Lichtart, ist dabei immer gleich 1 gesetzt zu denken.

Tabelle III.

Lichtgattung	Die Helligkeit wurde herabgesetzt bis auf	Dabei ist nachgewiesen die Constanz der Wellenlänge bis auf		Fortpflanzungsgeschwindigkeit bis auf
Li_α	$\frac{1}{.10}$	$\frac{1}{.300000}$	des eigenen Betrages	1,0 km
H_α	$\frac{1}{.84}$	$\frac{1}{.340000}$	„	0,9 „
Na_α	$\frac{1}{.84}$	$\frac{1}{.500000}$	„	0,6 „
Hg_α	$\frac{1}{.250}$	$\frac{1}{.840000}$	„	0,4 „
Tl_α	$\frac{1}{.20}$	$\frac{1}{.330000}$	„	0,3 „
H_β	$\frac{1}{.10}$	$\frac{1}{.320000}$	„	1,0 „
Sr_δ	$\frac{1}{.9}$	$\frac{1}{.340000}$	„	0,9 „
Hg_β	$\frac{1}{.10}$	$\frac{1}{.520000}$	„	0,6 „

Das Resultat der Beobachtungen lautet also:

Die Wellenlänge und damit die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ist fast bis auf ein Milliontel genau unabhängig von seiner Intensität, wenn diese zwischen den Werthen 1 und 250 variirt.

Die hier mitgetheilten Zahlenwerthe dürften die obere Grenze der mit der benutzten Methode erreichbaren Genauigkeit darstellen. Denn um hohe Gangunterschiede zu erhalten, muss man möglichst homogenes Licht verwenden; dieses ist aber nur möglich, wenn man den Spielraum, innerhalb dessen die Helligkeit verändert wird, verhältnissmässig eng begrenzt. Durch sorgsames Ausprobiren habe ich die von beiden Factoren bedingten Grenzen möglichst weit hinaus zu schieben gesucht.

Der obige Satz wurde für die im Laboratorium zur Verfügung stehenden Lichtintensitäten experimentell bewiesen; berücksichtigt man die Verschiedenartigkeit der Lichtarten, der Lichtentwickelung und der Ausgangsintensitäten, und nimmt man hinzu, dass die grossen Helligkeiten in der Sonne die Coincidenzen der Fraunhofer'schen Linien mit den Linien unserer irdischen Lichtquellen selbst bei den grössten Dispersionen nicht aufheben, so ist der Schluss berechtigt, dass der aufgestellte Satz innerhalb der überhaupt vorkommenden Helligkeitsgrenzen ganz allgemein gilt.

J. J. Müller hat, wie oben erwähnt, ein von dem obigen abweichendes Resultat gefunden. Seine Versuche sind nach

zwei Methoden angestellt worden: erstens mit Hülfe der Fizeau'schen Curven gleicher Dicke bei hohen Gangunterschieden in einer der hier gegebenen ähnlichen Anordnung, und zweitens mit Hülfe der Fraunhofer'schen Minima II. Klasse. Die Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe sind von F. Lippich nachgeprüft worden und haben sich ebenfalls nicht bestätigt; es zeigte sich, dass die Wellenlänge bei den verschiedenen Helligkeiten, „selbst in zweiter Näherung die bereits Hunderte von Milliontheilen einer Wellenlänge berücksichtigt", constant ist. Aus den mitgetheilten Angaben lässt sich nicht ersehen, worin der Grund der abweichenden Resultate zwischen Lippich und Müller liegt; ich habe für meine, die Resultate der ersten Reihe widerlegenden Versuche den Grund der Nichtübereinstimmung aufzufinden gesucht.

Zur Erzeugung der Interferenzcurven benutzte Müller einmal ein Newton'sches Interferenzglas, dessen (oberes) Planglas festgestellt wurde, dessen (untere) Convexlinse auf Quecksilber schwamm und durch Abfliessenlassen desselben von ersterem entfernt wurde. Der Streifenabstand betrug 5 mm. Daneben benutzte er noch ein Planglas von 5,103 mm Dicke (27000 Wellenlängen Gangunterschied für Natriumlicht), auf dem die Curven gleicher Dicken 6 mm voneinander entfernt waren. Zur Fixirung der Streifenlage diente in beiden Fällen ein gewöhnliches Fadenkreuz. Als Lichtquellen benutzte er einmal Salzperlen an Platindrähten, welche in die Flamme des Bunsenbrenners gehalten wurden, andererseits eine mit Wasserstoff gefüllte Spectralröhre. Die Helligkeit wurde durch zwei absorbirende Gläser auf $^1/_3$, resp. auf $^1/_{10}$ der ursprünglichen herabgesetzt. Die erhaltenen Resultate waren die folgenden:

Lichtgattung	Die Helligkeit wurde herabgesetzt bis auf	Beobachtete Aenderung der Wellenlänge	Beobachtete Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit
H_α	$^1/_3$	$^1/_{200000}$	1,5 km
Na_α	$^1/_3$	$^1/_{250000}$	2,4 „
	$^1/_{10}$	$^1/_{66667}$	4,5 „
H_β	$^1/_3$	$^1/_{80000}$	5,0 „

Abgesehen von Aenderungen an der Lichtquelle und dem Apparate während der Beobachtung, welche bei dieser Anordnung nicht ausgeschlossen waren, ist zunächst zu beachten, dass bei dem grossen gegenseitigen Abstande der Streifen (5 mm, bei dem Planglase sogar 6 mm) diese jedenfalls sehr verwaschen gewesen sind; ein Beziehen der Streifenlage auf die Fäden eines im Gesichtsfelde ausgespannten Fadenkreuzes ist daher sehr schwierig und unsicher. Nun betragen die von Müller beobachteten Streifenverschiebungen im Maximum 0,3 des Streifenabstandes. Berücksichtigt man, dass die diesen Beobachtungen zu Grunde liegenden Einzelschätzungen bei verschiedenen Helligkeiten des Gesichtsfeldes vorgenommen wurden, von denen die eine jedenfalls sehr nahe der Reizschwelle lag, so kommt man zu der Vermuthung, dass die hier beobachteten geringen scheinbaren Streifenverschiebungen auf rein subjective Ursachen zurückzuführen sind. Um darüber Gewissheit zu erlangen, stellte ich folgenden einfachen Versuch an.

Auf dem Tischchen des Interferenzapparates, auf dem sonst die Interferenzgläser lagen, wurden zwei Spiegelglasplatten übereinander gelegt, welche an sich zu unregelmässig gestaltet waren, um bei den ihren Dicken zukommenden Gangunterschieden noch Interferenzen zu zeigen, die aber zwischen sich eine sehr dünne Luftschicht einschlossen, an der deutliche Interferenzcurven sichtbar waren. Die Gangunterschiede dieser Curven betrugen natürlich nur wenige Wellenlängen. Auf die Platten wurde ein Ring mit einem aus zwei dünnen Kupferdrähten gebildeten Fadenkreuz gelegt. Wurden die Streifen bei einer gewissen Helligkeit des Gesichtsfeldes fixirt und dann das Absorptionsglas rasch in die Bahn des Lichtes gebracht oder aus derselben entfernt, so schienen jedesmal die Streifen zu springen, sie wurden undeutlich, ja unter Umständen ganz unsichtbar, und erst beim allmählichen Accommodiren des Auges auf die neue Erleuchtung des Sehfeldes war es möglich, die Streifen wieder auf die feste Marke zu beziehen. Suchte man über die Lage der Streifen bei hellem und dunklem Gesichtsfelde Vergleiche anzustellen, so war man offenbar immer darauf angewiesen,

ein Bild, was man vor Augen hatte, mit einem Erinnerungsbilde zu vergleichen; dies war äusserst schwierig, und wenn die Streifen weit auseinander lagen (4 bis 5 mm), so betrug bei mir die Unsicherheit des Urtheils mindestens so viel, wie die von Müller beobachteten Grössen. Die Unsicherheit wuchs mit der Unempfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Farben, für Blau war sie am grössten. Berücksichtigt man noch, dass bei Natrium aus dem schon oben angeführten Grunde (p. 35) die Interferenzen bei gewissen hohen Gangunterschieden bis zum völligen Verschwinden undeutlich werden können, so dürfte sich auch die relative Grösse der von Müller für die drei verschiedenen Wellenlängen (roth, gelb, blau) erhaltenen Zahlen auf rein physiologische Momente (Blendungserscheinungen, Ungleichheit des Urtheiles über Distanzen im Hellen und Dunklen oder Aehnliches) ungezwungen zurückführen lassen. Bei der hier eingeschlagenen Methode fiel diese Fehlerquelle fort, weil Streifen mit Streifen verglichen und nur Coincidenzen beobachtet wurden.

Damit fallen auch alle von J. Müller aufgestellten Hypothesen über die Reibung im Aether, welche die Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und damit die von ihm beobachteten Verschiebungsgrössen erklären sollten.

Zum Schluss erlaube ich mir noch, das obige Resultat auf einige astrophysikalische Fragen anzuwenden.

Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von seiner Intensität in irgend einem merklichen Grade abhängig, so würde zu dem Umstande, dass die uns am Himmel in demselben Augenblicke entgegentretenden Erscheinungen in Wirklichkeit sehr verschiedenen Zeiten angehören, noch die weitere Complication hinzutreten, dass diese Zeiten selbst bei gleicher räumlicher Entfernung für die verschiedenen Objecte sehr verschieden wären. Bei den grossen Intensitätsunterschieden, die sich hier vorfinden, und den grossen Entfernungen, welche die Lichtstrahlen zu durchlaufen haben, ehe sie zu uns gelangen, könnten sich selbst kleine Unterschiede in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in hohem Grade geltend machen. Dies müsste z. B. bei den

physischen Doppelsternen eintreten; hier haben wir zwei Lichtquellen, die zwar sehr angenähert gleich weit von uns abstehen, deren Lichtintensität sich aber im allgemeinen sehr erheblich voneinander unterscheidet. Trotzdem finden wir, dass, wenn es uns gelungen ist die Bahnen von Doppelsternen zu berechnen, die beiden Componenten wirklich zu gleicher Zeit an entsprechenden Punkten ihrer Bahnen erscheinen und mit ihrem gemeinsamen Schwerpunkte immer auf einer geraden Linien liegen. Diese Thatsache können wir also geradezu als neue Stütze für das von uns experimentell festgestellte Resultat heranziehen. Ein Beispiel möge übrigens noch zeigen, dass die von mir nachgewiesene Grenze für die Unabhängigkeit der beiden in Rede stehenden Grössen für die astronomische Praxis jedenfalls völlig ausreicht.

Der von Bessel berechnete, von Clark entdeckte Begleiter des Sirius besitzt nach den Berechnungen von Auwers und Peters eine ausserordentlich grosse Masse ($^1/_2$ bis $^2/_3$ der Siriusmasse selbst). Gleichwohl erscheint er uns nur als Stern etwa 9. Grösse, seine Helligkeit ist also gegen die seines Hauptsternes eine sehr geringe, nach Schönfeld[1]) nur ca. $^1/_{1000}$ von der des Sirius. Oben wurde für Strahlen mittlerer Wellenlänge (für das Natriumlicht) gefunden, dass bei Abschwächung des Lichtes von der Intensität 1 bis zur Intensität $^1/_{33}$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich noch nicht um $^1/_{500\,000}$ ändert. Gehen wir von diesem Grenzwerthe aus, d. h. nehmen wir an, dass sich bei Helligkeitsdifferenzen von 33 : 1 die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gerade noch um diesen Betrag unterscheiden könne, und dass derselbe proportional mit dem Intensitätsunterschiede wachse, so würde das Licht des Begleiters in dem vorliegenden Beispiele in jeder Secunde um $30 \times 0{,}6$ oder 18 km hinter dem Lichte des Hauptsternes zurückbleiben. Die Entfernung des Siriussystems beträgt in Lichtzeit etwa 30 Jahre. Nehmen wir an, es seien genau 30 Jahre, so würde das Licht des Begleiters:

$$\frac{300\,000}{299\,982} \times 30 = 30{,}0018$$

1) Schönfeld, Die dunklen Fixsternbegleiter. Mannheimer Verein für Naturkunde. 30. Jahresbericht.

Jahre gebrauchen, um zu uns zu gelangen, d. h. von zwei gleichzeitig ausgehenden Lichtstrahlen würde der des Begleiters immer nur etwa 0,7 Tag später eintreffen, als der vom Sirius selbst ausgesandte. Da aber die Umlaufszeit beider Körper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt etwa 50 Jahre beträgt, so ist jene Zeitdifferenz und die ihr entsprechende Ortdifferenz zu vernachlässigen. Die gemachten Annahmen sind jedenfalls sehr ungünstige; wir können also sicher bei allen Bahnbestimmungen von der etwa noch vorhandenen Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Intensität, deren Betrag unter den durch das Experiment festgestellten Grenzen liegt, absehen.

Das erhaltene Resultat ist ferner bei den Anwendungen des Doppler'schen Principes von Bedeutung, wo die relativen Geschwindigkeiten der Gestirne in der Richtung der Sehlinie aus Aenderungen in der mittleren Brechbarkeit isolirter Spectrallinien bestimmt werden. Hier liegen in den einzelnen Fällen oft sehr grosse Helligkeitsunterschiede vor, und es ist folglich für die Anwendbarkeit dieses Principes wichtig, direct nachgewiesen zu haben, dass diese Helligkeitsunterschiede nicht mit in Frage kommen.

Auf die Verwendung der oben beschriebenen Methoden zum Studium der Abhängigkeit der mittleren Wellenlänge von der Temperatur, dem Druck, der Dampfmenge u. s. w., Beziehungen, die sich zum Theil schon bei den Vorversuchen zu dieser Untersuchung ergeben mussten, komme ich in einer demnächst zu erscheinenden Abhandlung zurück; zunächst musste festgestellt werden, dass eine blosse Intensitätsänderung innerhalb weiter Grenzen auf die Wellenlänge keinen Einfluss hat.

Zum Schluss sei es mir vergönnt, Hrn. Prof. Dr. E. Wiedemann für die rege Unterstützung, die er mir bei meiner Arbeit hat zu Theil werden lassen, den wärmsten Dank auszusprechen.

Erlangen, Phys. Inst.

VITA.

Ich, Cäsar Hermann Robert Ebert, wurde am 20. Juni 1861 zu Leipzig geboren, woselbst mein Vater Bürger und Kaufmann war, und evangelisch-lutherisch erzogen. Den Elementarunterricht erhielt ich in einer Bürgerschule; von Ostern 1872 an bis Ostern 1881 besuchte ich das Nicolaigymnasium meiner Vaterstadt und machte hierselbst 1881 mein Maturitätsexamen. Im Jahre 1878 starb mein Vater nach längerem Leiden. Ostern 1881 bezog ich als Student der Mathematik und Astronomie die Universität Leipzig, und verblieb hier bis Ostern 1886; von Michaeli 1881 bis 1882 war ich zur Genügung meiner Militärdienstpflicht dispensirt. Ich hörte Vorlesungen bei den Herren Professoren und Docenten: Bruns, Credner, Hankel, Harzer, Hirzel, Klein, Neumann, Maurenbrecher, Marshall, Mayer, von der Mühll, Richthofen, Rohn, Scheibner, Schur, Seeliger, E. Wiedemann, G. Wiedemann, Wundt, Zöllner. Ferner betheiligte ich mich an den mathematischen Uebungen in den Seminarien der Herren Professoren Mayer und von der Mühll, an den physikalischen in den Laboratorien der Herren Professoren Hankel und G. Wiedemann, und an den geographisch-astronomischen an der Leipziger Universitätssternwarte unter Anleitung der Herren Professoren Bruns und Seeliger. Allen den genannten Herren bin ich für die erhaltene wissenschaftliche Anregung und Anleitung zu grösstem Danke verpflichtet.

Während des Sommersemesters 1886 arbeitete ich im physikalischen Laboratorium der technischen Hochschule zu Darmstadt, von Michaeli 1886 an in dem physikalischen Institute der Universität Erlangen unter Anleitung des Herrn Prof. Dr. Eilhard Wiedemann, dem ich für seine allseitige Unterstützung zu ganz besonderem Danke verpflichtet bin.

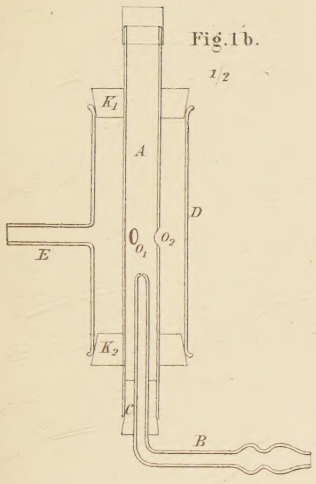


Fig. 1b.
1/2
K_1
A
D
E
O_1
O_2
K_2
B

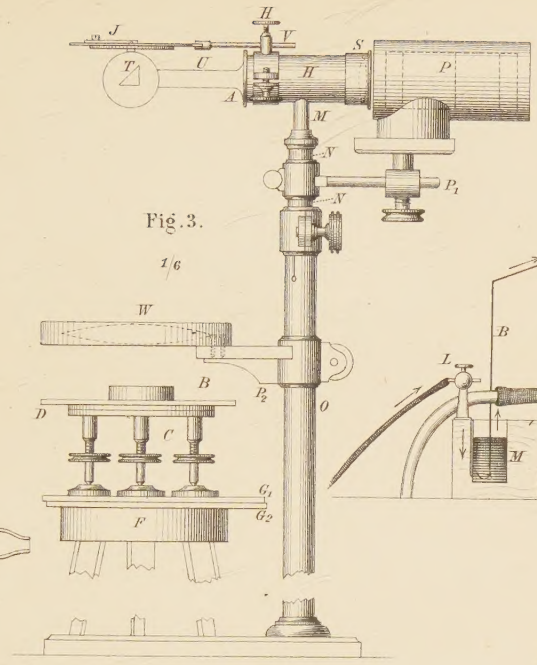


Fig. 3.
1/6
H
J
V
U
T
S
P
A
M
N
P_1
W
B
P_2
D
C
O
F
G_1
G_2

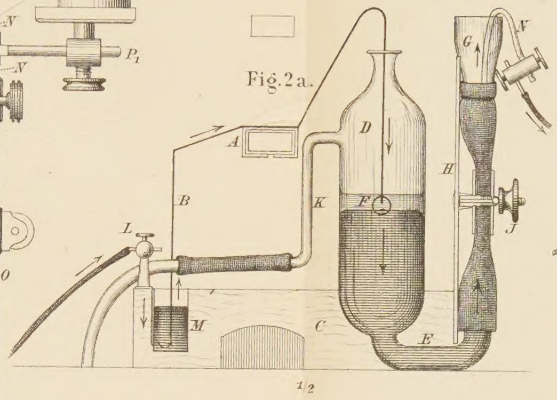


Fig. 2a.
A
D
G
N
B
K
F
H
J
L
M
C
E
1/2

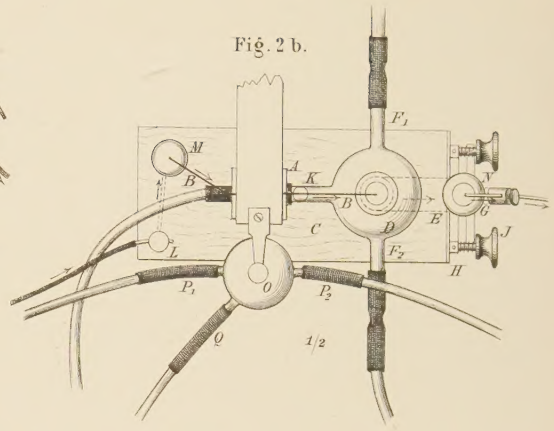
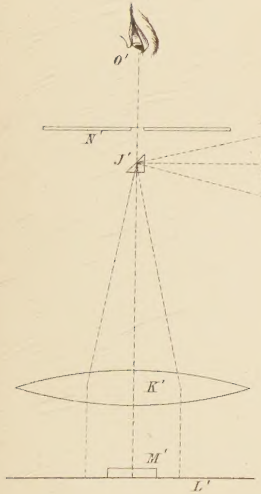


Fig. 2 b.
F_1
M
A
K
B
E
G
J
C
D
F_2
H
L
P_1
O
P_2
Q
1/2


O'
N'
H'
G'
E'
F'
Z
J'
K'
M'
L'

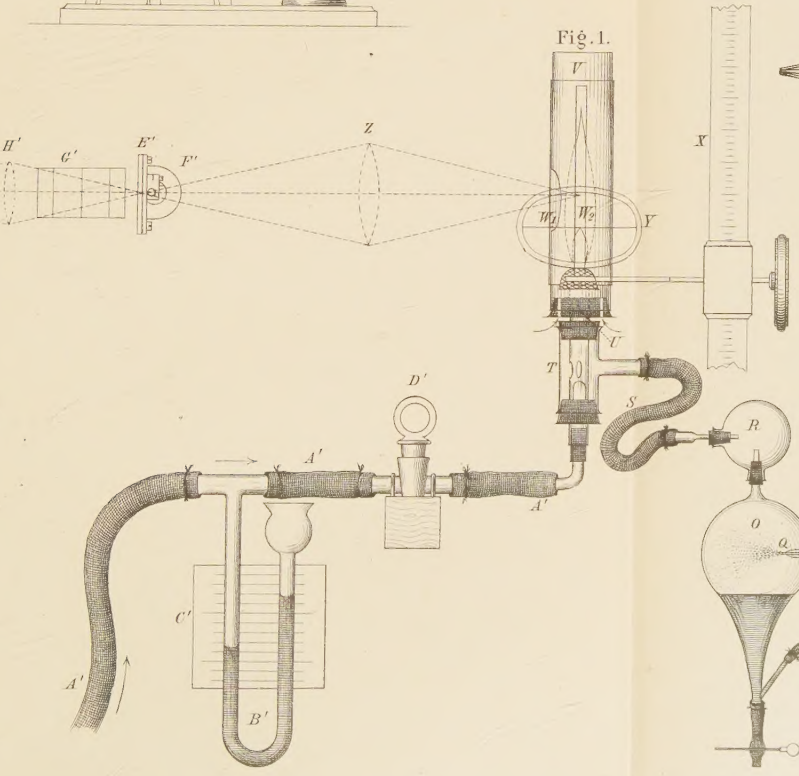


Fig. 1.
V
X
W_1
W_2
Y
U
T
S
D'
R
A'
C'
B'

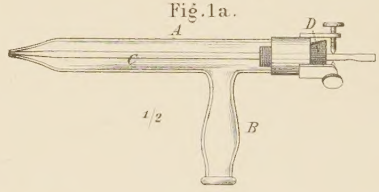
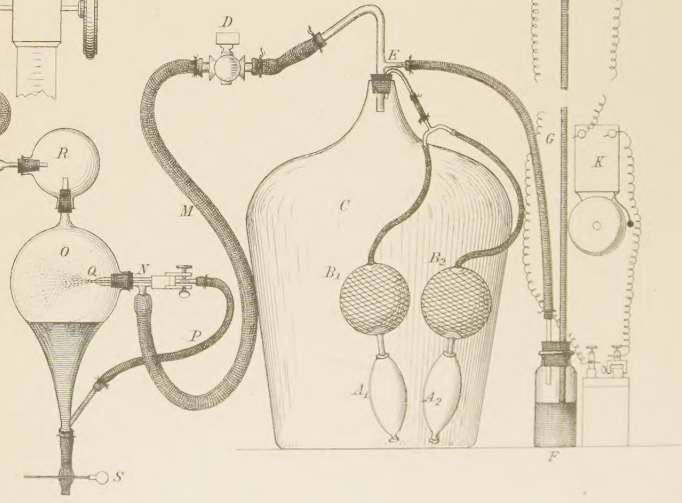


Fig. 1a.
A
D
C
1/2
B


J
H
L
G
D
E
K
C
M
O
Q
V
P
B_1
B_2
A_1
A_2
S
F